



TUGAS AKHIR - MN141581

ANALISIS PENGARUH KETEBALAN *NONCONDUCTIVE COATING* TERHADAP PENDETEKSIAN *SUBSURFACE CRACK* MATERIAL ALUMINIUM 5083 PADA SAMBUNGAN LAS DI PONDASI MESIN KAPAL DENGAN METODE *EDDY CURRENT TESTING (ECT)*

DANA WAHYUADI
NRP. 4112 100 116

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISIS PENGARUH KETEBALAN NONCONDUCTIVE
COATING TERHADAP PENDETEKSIAN SUBSURFACE
CRACK MATERIAL ALUMINIUM 5083 PADA
SAMBUNGAN LAS DI PONDASI MESIN KAPAL DENGAN
METODE EDDY CURRENT TESTING (ECT)**

DANA WAHYUADI
NRP. 41 12 100 116

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



FINAL PROJECT - MN141581

**ANALYSIS THE INFLUENCE OF NONCONDUCTIVE
COATING THICKNESS TO SUBSURFACE CRACK
DETECTABILITY IN A WELD JOINT OF 5083
ALUMINUM MATERIAL AT THE MACHINERY
FOUNDATION WITH EDDY CURRENT TESTING (ECT)
METHOD**

DANA WAHYUADI
NRP. 41 12 100 116

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH KETEBALAN *NONCONDUCTIVE COATING* TERHADAP PENDETEKSIAN *SUBSURFACE CRACK* MATERIAL ALUMINIUM 5083 PADA SAMBUNGAN LAS DI PONDASI MESIN KAPAL DENGAN METODE *EDDY CURRENT TESTING (ECT)*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program S1 Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

Dana Wahyuadi
NRP. 41 12 100 116

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:
Dosen Pembimbing:



Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.
NIP. 19700615 199512 1 001

SURABAYA, 23 JANUARI 2017

LEMBAR REVISI

ANALISIS PENGARUH KETEBALAN *NONCONDUCTIVE COATING* TERHADAP PENDETEKSIAN *SUBSURFACE CRACK* MATERIAL ALUMINIUM 5083 PADA SAMBUNGAN LAS DI PONDASI MESIN KAPAL DENGAN METODE *EDDY CURRENT TESTING (ECT)*

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
tanggal 11 Januari 2017

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program S1 Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

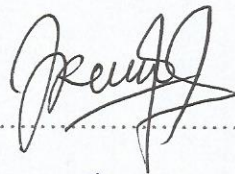
Oleh:

DANA WAHYUADI

NRP. 41 12 100 116

Disetujui oleh tim penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T.



2. Muhammad Nurul Misbah, S.T., M.T.

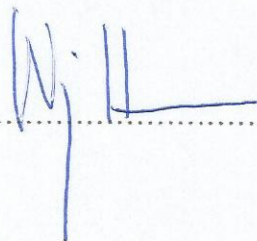


3. Septia Hardy Sujiatanti, S.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.



SURABAYA, 23 JANUARI 2017

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi persyaratan sebelum mengerjakan tugas akhir dan sebagai prasyarat kelulusan Program Sarjana Teknik Perkapalan ITS. Pada penyusunan tugas akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Wing Hendroprasetyo Akbar Putra S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam memberikan bimbingan, ilmu, arahan, dan kepercayaan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan-FTK ITS sekaligus sebagai dosen wali yang selalu memberikan nasihat, motivasi, dan saran dengan penuh bijaksana selama ini.
3. Seluruh dosen di Departemen Teknik Perkapalan atas ilmu-ilmu berharga yang telah diajarkan selama kuliah.
4. Keluarga di rumah terutama papa dan mama tercinta: Eddy Dwi Rochadi dan Dr. Wahyu Utami, M.S., Apt yang tidak pernah berhenti memberikan doa, semangat, dan kasih sayang yang tidak pernah bisa terbalaskan.
5. Bapak Ari, selaku *Quality Control* PT. Bintang Timur Samudra yang memberikan bantuan proses pengelasan untuk tugas akhir ini.
6. Pak Pardi, Pak Deny, Pak Yanto, Mas Joko, Pak Fayril, Mas Dimas (Agil), dan Mas Ergi, yang selalu siap membantu kapan pun pengerjaan tugas akhir ini.
7. Venilia Vania, S.T., atas segala bantuan dan semangat yang diberikan selama ini.
8. Prayoga Relanda, Affan, Pramono, Rafli, Dandy, Agung Budi, Dhika dan keluarga besar “FORECASTLE P-52” atas dukungan, bantuan, dan tawa yang selalu dihadirkan selama bangku kuliah.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Guna perbaikan bagi karya tulis penulis kedepannya dan bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 23 Januari 2017

Penulis,

“Halaman sengaja dikosongkan”

**ANALISIS PENGARUH KETEBALAN *NONCONDUCTIVE COATING*
TERHADAP PENDETEKSIAN *SUBSURFACE CRACK* MATERIAL ALUMINIUM
5083 PADA SAMBUNGAN LAS DI PONDASI MESIN KAPAL DENGAN
METODE *EDDY CURRENT TESTING* (ECT)**

Nama : Dana Wahyuadi
Nrp : 41 12 100 116
Departemen : Teknik Perkapalan
Dosen Pembimbing : Wing Hendropresetyo Akbar Putra S.T., M.Eng

ABSTRAK

Pembuatan kapal dengan bahan utama aluminium tidak akan lepas dari proses pengelasan. Akan tetapi, dalam proses pengelasan sering muncul permasalahan yaitu seperti *crack* yang sering dijumpai pada bagian pondasi mesin. Crack tersebut dapat dideteksi menggunakan salah satu metode *Non-Destructive Test* (NDT) yaitu *Eddy Current Testing* (ECT). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ketebalan cat terhadap pendeteksian *subsurface crack* material aluminium 5083 dengan metode Eddy Current Testing (ECT).

Penelitian ini menggunakan empat spesimen yang terdiri dari empat pelat aluminium 5083 ukuran 300 mm x 130 mm x 6 mm dengan sambungan las tumpul. Retak buatan dibuat menggunakan *Electrical Discharge Machining* (EDM) dengan empat variasi kedalaman retak dan total empat retak buatan tiap spesimen. Kemudian spesimen dilapisi *nonconductive coating* dengan variasi ketebalan 100 mikron, 200 mikron, 300 mikron dan satu spesimen tidak dilapisi cat.

Hasil rata-rata ketinggian sinyal indikasi retak bawah permukaan pada penelitian ini adalah sebagai berikut. Untuk spesimen tanpa cat, pada jarak retak 0.5 mm ketinggian sinyalnya 16.90 mm; pada jarak retak 1.0 mm ketinggian sinyalnya 14.20 mm; pada jarak retak 1.5 mm ketinggian sinyalnya 10.40 mm; pada jarak retak 2.0 mm ketinggian sinyalnya 8.50 mm. Untuk spesimen tebal cat 100 mikron, pada jarak retak 0.5 mm ketinggian sinyalnya 14.80 mm, pada jarak retak 1.0 mm ketinggian sinyalnya 12.80 mm, pada jarak retak 1.5 mm ketinggian sinyalnya 9.70 mm, pada jarak retak 2.0 mm ketinggian sinyalnya 6.70 mm. Untuk spesimen tebal cat 200 mikron, pada jarak retak 0.5 mm ketinggian sinyalnya 13.20 mm, pada jarak retak 1.0 mm ketinggian sinyalnya 11.60 mm, pada jarak retak 1.5 mm ketinggian sinyalnya 7.30 mm, pada jarak retak 2.0 mm ketinggian sinyalnya 5.00 mm. Untuk spesimen tebal cat 300 mikron, pada jarak retak 0.5 mm ketinggian sinyalnya 11.30 mm; pada jarak retak 1.0 mm ketinggian sinyalnya 8.50 mm; pada jarak retak 1.5 mm ketinggian sinyalnya 5.90 mm; pada jarak retak 2.0 mm ketinggian sinyalnya 4.60 mm. Pada umumnya, semakin tebal lapisan cat yang bersifat *nonconductive coating* pada permukaan spesimen akan semakin menurunkan kemampuan pendeteksian retak bawah permukaan (*subsurface crack*) pada pengujian eddy current.

Kata Kunci: Aluminium, *Eddy Current Testing*, *Nonconductive coating*, *Subsurface crack*

“Halaman sengaja dikosongkan”

ANALYSIS THE INFLUENCE OF NONCONDUCTIVE COATING THICKNESS TO SUBSURFACE CRACK DETECTABILITY IN A WELD JOINT OF 5083 ALUMINUM MATERIAL AT THE MACHINERY FOUNDATION WITH EDDY CURRENT TESTING (ECT) METHOD

Name : Dana Wahyuadi
NRP : 41 12 100 116
Department : Naval Architecture and Shipbuilding Engineering
Supervisor : Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.

ABSTRACT

Shipbuilding with aluminum as its main material will always have a welding process. However, there are many problems in the welding process, such as crack at the engine foundation. Eddy Current Testing (ECT) as the one of the Nondestructive Tests (NDT) method can be used to detect cracks. The objective of this research is to analyze the influence of nonconductive coating thickness to the subsurface crack detectability on a weld joint of 5083 aluminum material using Eddy Current Testing (ECT) method.

The experiments were conducted on four test piece, that consists of four 300 mm x 130 mm x 6 mm of 5083 butt welded aluminum plates. Artificial defects were made using Electrical Discharge Machining (EDM) with four crack depth variations on each test piece. The test pieces coated using nonconductive coating of 100 micron, 200 micron, 300 micron thicknesses, and the other is uncoated.

The average result subsurface crack indication signal height in this research showed that: for the uncoated test piece, a subsurface crack depth of 0.5 mm is 16.90 mm; a subsurface crack depth of 1.0 mm is 14.20 mm; a subsurface crack depth of 1.5 mm is 10.40 mm; and a subsurface crack depth of 2.0 mm is 8.50 mm. For 100 micron coating thickness: a subsurface crack depth of 0.5 mm is 14.80 mm; a subsurface crack depth of 1.0 mm is 12.80 mm; a subsurface crack depth of 1.5 mm is 9.70 mm; and a subsurface crack depth of 2.0 mm is 6.70 mm. For 200 micron coating thickness: a subsurface crack depth of 0.5 mm is 13.20 mm; a subsurface crack depth of 1.0 mm is 11.60 mm; a subsurface crack depth of 1.5 mm is 7.30 mm; and a subsurface crack depth of 2.0 mm is 5.00 mm. For 300 micron coating thickness: a subsurface crack depth of 0.5 mm is 11.30 mm; a subsurface crack depth of 1.0 mm is 8.50 mm; a subsurface crack depth of 1.5 mm is 5.90 mm; and a subsurface crack depth of 2.0 mm is 4.60 mm. In general, the thicker nonconductive coating at the surface of the specimen, the less detectability of subsurface crack on the eddy current testing.

Keywords: Aluminum, Eddy Current Testing, Nonconductive coating, Subsurface crack

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR - MN 141581	1
FINAL PROJECT - MN141581	3
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Hipotesis	3
1.7. Sistematika Penulisan Tugas Akhir	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
2.1. Elektromagnetism.....	5
2.1.1. Medan Magnet pada Konduktor	5
2.1.2. Polaritas Magnet dalam Kumparan	6
2.1.3. Induksi Magnet	8
2.2. Pengujian Eddy Current.....	9
2.2.1. Prinsip Pengujian.....	10
2.2.2. Faktor Penting dalam Pengujian.....	11

2.2.3. Pemilihan Sistem Frekuensi	13
2.2.4. Kalibrasi pada Pengujian.....	14
2.2.5. Sistem Analisis Fase.....	16
2.2.6. Tampilan Sinyal Pengujian	16
2.2.7. Kedalaman Penembusan.....	18
2.2.8. Kumparan Pengujian	20
2.2.8.1. Probe Coils	20
2.2.8.2. Encircling Coil	21
2.2.8.3. Bobbin Coil	22
2.2.9. Susunan Kumparan	22
2.2.9.1. Absolute Coil.....	23
2.2.9.2. Differential Coil	24
2.2.9.3. Hybrid Coils	25
2.2.10. Aplikasi Pengujian	25
2.2.11. Keuntungan dan Kelemahan Pengujian Eddy Current.....	26
2.3. Aluminium	27
2.3.1. Kelebihan Aluminium sebagai Konstruksi Kapal	28
2.4. Gas Metal Arc Welding (GMAW)	29
2.5. Electric Discharge Machining (EDM)	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1. Diagram Alir	33
3.2. Persiapan Material dan Alat	35
3.3. Proses Pengelasan	38
3.4. Pembuatan Retak Buatan	41
3.5. Pelapisan Cat.....	44
3.6. Pengujian Eddy Current	47
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	51

4.1. Hasil Pengujian pada Spesimen #1	51
4.2. Hasil Pengujian pada Spesimen #2.....	53
4.3. Hasil Pengujian pada Spesimen #3.....	54
4.4. Hasil Pengujian pada Spesimen #4.....	55
4.5. Perbandingan Ketinggian Sinyal Retak Berdasarkan Variasi Ketebalan Cat.....	57
4.5.1. Ketinggian Sinyal pada Jarak Retak 0.5 mm.....	57
4.5.2. Ketinggian Sinyal pada Jarak Retak 1.0 mm.....	59
4.5.3. Ketinggian Sinyal pada Jarak Retak 1.5 mm.....	61
4.5.4. Ketinggian Sinyal pada Jarak Retak 2.0 mm.....	62
4.6. Pembahasan	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1. Kesimpulan.....	67
5.2. Saran	68
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN	
BIOGRAFI PENULIS	

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Serbuk besi yang ditarik oleh kawat listrik.....	5
Gambar 2.2. Jarum kompas pada sebuah konduktor.	6
Gambar 2.3. Kutub-kutub magnet pada arus loop.....	7
Gambar 2.4. Lilitan kumparan.....	7
Gambar 2.5. Garis gaya magnet batang.....	8
Gambar 2.6. Arus yang dihasilkan fluks magnet.....	8
Gambar 2.7. Contoh alat eddy current.....	9
Gambar 2.8. Arah arus eddy yang berlawanan terhadap arus utama.	10
Gambar 2.9. Prinsip pengujian eddy current.	11
Gambar 2.10. Diagram bidang impedansi.	16
Gambar 2.11. Tampilan diagram bidang impedansi pada LCD digital.....	17
Gambar 2.12. Tampilan time-based pada LCD digital.....	17
Gambar 2.13. Kedalaman penetrasi eddy current.	18
Gambar 2.14. Grafik kedalaman penetrasi standard.	19
Gambar 2.15. Tampilan dan susunan probe coil.	21
Gambar 2.16. Pemeriksaan sebuah tube dengan encircling coil.	21
Gambar 2.17. Bobbin Coil.....	22
Gambar 2.18. Single coil dan dual coil absolute.	23
Gambar 2.19. Self-comparison differential dan external reference differential.....	24
Gambar 2.20. Cara kerja hybrid coils.....	25
Gambar 2.21. Pelat Aluminium.....	27
Gambar 2.22. Proses pengelasan GMAW.	29
Gambar 2.23. Ilustrasi peralatan EDM.	31
 Gambar 3.1. Diagram alir pengerjaan tugas akhir.....	 33
Gambar 3.3. Diagram alir pengerjaan tugas akhir (lanjutan).	34
Gambar 3.4. Dimensi spesimen uji.....	35
Gambar 3.5. Spesimen uji sebelum pengelasan.	36
Gambar 3.6. Blok kalibrasi.....	37
Gambar 3.7. Probe pengujian yang digunakan.....	37
Gambar 3.8. Eddy current testing machine.	38
Gambar 3.9. Sudut bevel yang direncanakan.	38

Gambar 3.10. Proses pembuatan bevel.	39
Gambar 3.11. Proses pembuatan tanggem/stopper.	39
Gambar 3.12. Persiapan pengelasan.....	40
Gambar 3.13. Proses pengelasan.....	40
Gambar 3.14. Hasil pengelasan.....	41
Gambar 3.15. Letak dan dimensi retak buatan.....	42
Gambar 3.16. Tampilan tool EDM.....	42
Gambar 3.17. Tampilan layar monitor EDM.	43
Gambar 3.18. Hasil retak buatan dengan panjang 10.0 mm.....	43
Gambar 3.19. Proses pelapisan cat.....	44
Gambar 3.20. Variasi warna film (shims) untuk kalibrasi.	45
Gambar 3.21. Pemeriksaan ketebalan cat.....	45
Gambar 3.22. Hasil pembacaan ketebalan cat 100 mikron.	46
Gambar 3.23. Hasil pembacaan ketebalan cat 200 mikron.	46
Gambar 3.24. Hasil pembacaan ketebalan cat 300 mikron.	47
Gambar 3.25. Pengaturan saat kalibrasi.	48
Gambar 3.26. Tampilan sweep (time-based).....	48
Gambar 3.27. Proses <i>scanning</i> saat pengujian.	49
 Gambar 4.1. Hasil dokumentasi ketinggian sinyal retak untuk jarak retak (A) 0.5 mm (B) 1.0 mm (C) 1.5 mm (D) 2.0 mm.	 52
Gambar 4.2. Hasil dokumentasi ketinggian sinyal retak untuk jarak retak (A) 0.5 mm (B) 1.0 mm (C) 1.5 mm (D) 2.0 mm.	 53
Gambar 4.3. Hasil dokumentasi ketinggian sinyal retak untuk jarak retak (A) 0.5 mm (B) 1.0 mm (C) 1.5 mm (D) 2.0 mm.	 54
Gambar 4.4. Hasil dokumentasi ketinggian sinyal retak untuk jarak retak (A) 0.5 mm (B) 1.0 mm (C) 1.5 mm (D) 2.0 mm.	 56
Gambar 4.5. Perbandingan sinyal retak 0.5 mm dari permukaan pada keempat spesimen.	57
Gambar 4.6. Grafik regresi rata-rata ketinggian sinyal pada jarak retak 0.5 mm.	58
Gambar 4.7. Perbandingan sinyal retak 1.0 mm dari permukaan pada keempat spesimen.	59
Gambar 4.8. Grafik regresi rata-rata ketinggian sinyal pada jarak retak 1.0 mm.	60
Gambar 4.9. Perbandingan sinyal retak 1.5 mm dari permukaan pada keempat spesimen.	61
Gambar 4.10. Grafik regresi rata-rata ketinggian sinyal pada jarak retak 1.5 mm.	62

Gambar 4.11. Perbandingan sinyal retak 2.0 mm dari permukaan pada keempat spesimen.	62
Gambar 4.12. Grafik regresi rata-rata ketinggian sinyal pada jarak retak 2.0 mm.	63
Gambar 4.13. Grafik perbandingan rata-rata ketinggian sinyal indikasi retak.....	65

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Hasil pengukuran ketinggian sinyal spesimen #1.	52
Tabel 4.2. Hasil pengukuran ketinggian sinyal spesimen #2.	54
Tabel 4.3. Hasil pengukuran ketinggian sinyal spesimen #3.	55
Tabel 4.4. Hasil pengukuran ketinggian sinyal spesimen #4.	56
Tabel 4.5. Tinggi indikasi sinyal pada retak 0.5 mm dari permukaan.	58
Tabel 4.6. Tinggi indikasi sinyal pada retak 1.0 mm dari permukaan.	59
Tabel 4.7. Tinggi indikasi sinyal pada retak 1.5 mm dari permukaan.	61
Tabel 4.8. Tinggi indikasi sinyal pada retak 2.0 mm dari permukaan.	63
Tabel 4.9. Rekapitulasi hasil pengujian.	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan aluminium di dunia industri terus berkembang, termasuk di dunia industri perkapalan. Aluminium memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan baja karbon yang paling banyak digunakan untuk bahan utama dari sebuah kapal. Karena sifatnya yang ringan dan daya tahan korosi terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu las yang sangat baik inilah, maka aluminium banyak digunakan di dunia perkapalan. Tujuan dari penggunaan aluminium sebagai bahan utama pembuatan kapal biasanya adalah untuk mengurangi berat kapal sehingga kapal dapat melaju dengan cepat.

Pembuatan kapal dengan bahan utama aluminium juga tidak akan lepas dari proses pengelasan. Hal tersebut dikarenakan di dalam pembangunan kapal proses pengelasan merupakan metode utama untuk melakukan penyambungan. Akan tetapi, dalam proses pengelasan sering sekali muncul berbagai permasalahan yaitu ketidaksempurnaan dalam proses penyambungan seperti *crack*. Permasalahan tersebut sering dijumpai pada bagian pondasi mesin. Munculnya *crack* pada daerah tersebut bisa terjadi karena kesalahan awal dalam proses pengelasan atau terjadi tanpa disadari akibat adanya penerimaan beban secara terus menerus. Apabila keretakan pada suatu proses pengelasan tidak secepatnya diketahui dan dilakukan perbaikan, maka pada area tersebut akan memunculkan keretakan yang semakin meluas sehingga memungkinkan untuk patah yang dapat menyebabkan kerugian yang sangat besar. Oleh karena itu dibutuhkan metode yang bisa mendeteksi dan mengukur kerusakan material tersebut sejak dini tanpa merusak benda uji atau biasa disebut dengan *Non-Destructive Test* (NDT) sehingga dapat meminimumkan dampak yang ditimbulkan. Metode *Non-Destructive Test* (NDT) yang digunakan adalah *Eddy Current Testing* (ECT).

Dalam penelitian ini, penulis akan menganalisa pengaruh ketebalan *nonconductive coating* terhadap pendeteksian *subsurface crack* material Aluminium 5083 pada sambungan las di pondasi mesin kapal dengan salah satu metode pengujian yang tidak merusak atau biasa disebut *Non-Destructive Test* (NDT) yaitu *Eddy Current Testing* (ECT).

1.2. Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana kemampuan pendeteksian *subsurface crack* yang diakibatkan penggunaan variasi ketebalan *nonconductive coating* dengan metode *eddy current testing*?
2. Bagaimana pengaruh ketebalan *nonconductive coating* terhadap kemampuan pendeteksian *subsurface crack* material Aluminium 5083 pada sambungan las di pondasi mesin kapal dengan metode *Eddy Current Testing* (ECT)?

1.3. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah :

- Material yang digunakan adalah aluminium 5083 dengan ukuran 300 x 65 x 6 mm sebanyak 8 (delapan) buah.
- Pengelasan menggunakan proses *Gas Metal Arc Welding* dengan sambungan *butt joint*.
- Pembuatan *subsurface crack* pada setiap spesimen uji sebanyak empat buah dengan menggunakan *Electrical Discharge Machining* (EDM) dengan variasi jarak *crack* dari permukaan 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, dan 2.0 mm.
- Jenis cat berupa *nonconductive coating*.
- Pelapisan *nonconductive coating* pada setiap material dengan variasi ketebalan yaitu, 100 mikron, 200 mikron, 300 mikron dan tanpa pelapisan *coating*.
- Metode pengujian menggunakan *eddy current testing, single frequency, absolute mode*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui kemampuan pendeteksian *subsurface crack* yang diakibatkan penggunaan variasi ketebalan *nonconductive coating* dengan metode *eddy current testing* (ECT).
2. Menganalisis pengaruh ketebalan *nonconductive coating* terhadap pendeteksian *subsurface crack* material Aluminium 5083 pada sambungan las di pondasi mesin kapal dengan metode *eddy current testing* (ECT).

1.5. Manfaat Penelitian

Dengan adanya Tugas Akhir ini, diharapkan dapat berguna sebagai referensi dalam mengetahui pengaruh ketebalan *nonconductive coating* terhadap pendeteksian *subsurface crack* material Aluminium 5083 pada sambungan las di pondasi mesin kapal dengan metode *Eddy Current Testing* (ECT), *single frequency*, *absolute mode*.

1.6. Hipotesis

Dugaan awal dari Tugas Akhir ini adalah pelapisan yang bersifat *nonconductive* akan mengurangi sensitivitas terhadap pendeteksian *subsurface crack* dengan menggunakan *eddy current testing*, *single frequency*, *absolute mode*.

1.7. Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Untuk memperoleh hasil laporan Tugas Akhir yang sistematis dan tidak keluar dari pokok permasalahan yang telah ditentukan, maka dibuat sistematika penulisan sebagai berikut :

KATA PENGANTAR

ABSTRAK

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan konsep penyusunan Tugas Akhir yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika penelitian.

BAB II DASAR TEORI

Berisikan teori-teori yang mendukung dan relevan dengan penelitian. Teori tersebut dapat berupa penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya seperti Jurnal, Tugas Akhir, Tesis, dan Literatur yang relevan dengan topik penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan langkah-langkah atau kegiatan dalam pelaksanaan Tugas Akhir yang mencerminkan alur berpikir dari awal pembuatan Tugas Akhir sampai dengan selesai, Dalam bab ini juga dibahas mengenai pengumpulan data-data yang menunjang Tugas Akhir.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang analisa data dan pembahasan dari pengaruh ketebalan *nonconductive coating* terhadap pendeteksian *subsurface crack* material Aluminium 5083 pada sambungan las di pondasi mesin kapal dengan metode *Eddy Current Testing* (ECT).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan hasil analisa dan evaluasi yang didapat dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut yang berkaitan dengan materi yang terdapat dalam Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

STUDI LITERATUR

2.1. Elektromagnetism

Hubungan antara magnet dan listrik ditemukan pada tahun 1824 oleh Oersted, yang menemukan bahwa arus di dalam kabel dapat menggerakkan jarum kompas magnetik di luar kabel. Beberapa tahun kemudian efek sebaliknya ditemukan: medan magnet dalam gerakan dapat memaksa elektron untuk bergerak, menghasilkan arus. Penemuan penting ini dilakukan pada tahun 1831 secara independen oleh Faraday dan Henry. Oleh karena itu, elektromagnetisme terdiri dari efek magnetik dari arus listrik. Elektron-elektron yang bergerak berhubungan dengan medan magnet; medan magnet yang bergerak dapat menghasilkan arus. Efek elektromagnetik ini memiliki banyak aplikasi yang merupakan dasar dari pengujian *eddy current*. (Hagemaier, 2002)

2.1.1. Medan Magnet pada Konduktor

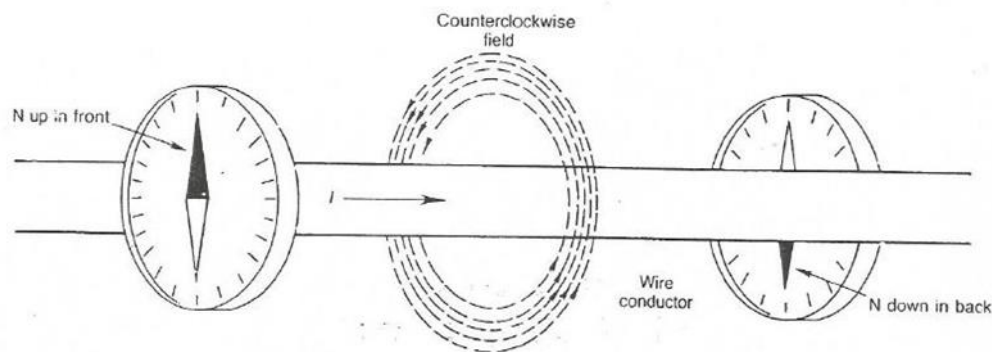


Gambar 2.1. Serbuk besi yang ditarik oleh kawat listrik.

Sumber: www.rfcafe.com

Fakta bahwa terdapat sebuah medan magnet yang berhubungan dengan arus saat di dalam kawat diilustrasikan pada Gambar 2.1, di mana serbuk besi ditarik oleh kawat saat arus mengalir dan terlepas ketika arus dihentikan. Daerah medan magnet yang terkuat terletak di permukaan konduktor, kemudian penurunan kekuatannya berbanding terbalik

dengan kuadrat jarak dari konduktor. Dengan garis-garis melingkar dari gaya magnet, kutub utara dalam medan magnet akan cenderung bergerak dengan lintasan melingkar. Dalam hal ini arah harus dipertimbangkan searah jarum jam atau berlawanan dengan arah jarum jam. Pada Gambar 2.2, jarum kompas yang menunjukkan kutub utara akan bergerak berlawanan dalam medan magnet. Untuk menentukan arah melingkar dari medan magnet, aturan berikut dapat digunakan: jika melihat kawat kebawah dalam arah aliran elektron, maka medan magnet adalah arah yang berlawanan. (Hagamaier, 2002)

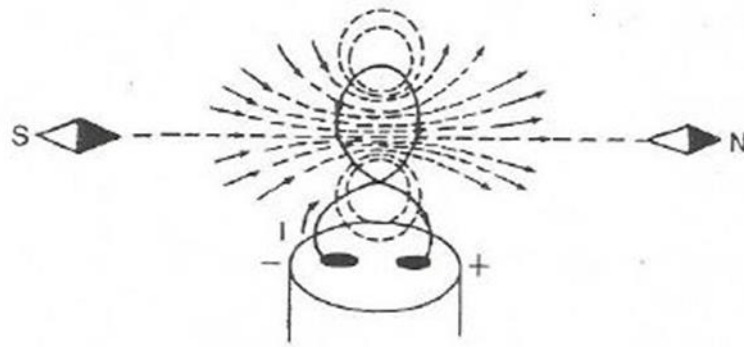


Gambar 2.2. Jarum kompas pada sebuah konduktor.

Sumber: Hagamaier, 2002

2.1.2. Polaritas Magnet dalam Kumparan

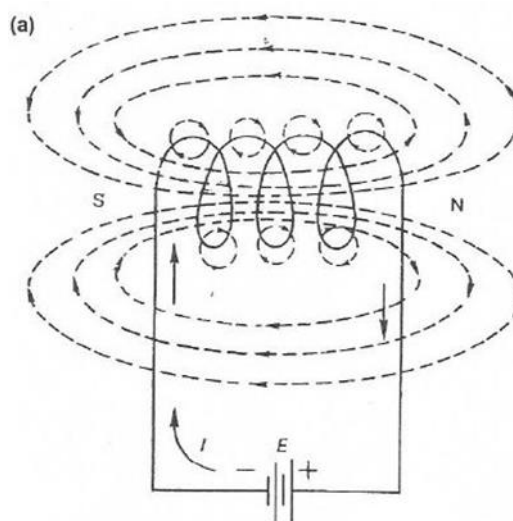
Dalam bentuk *loop*, pembengkokan konduktor lurus mempunyai dua efek. Pertama, garis-garis magnetik di dalam *loop* akan lebih padat. Jumlah total garis-garis magnetik dalam *loop* akan sama dengan konduktor lurus, akan tetapi garis-garis yang berada di dalam *loop* akan terkonsentrasi dalam ruang yang lebih kecil. Kedua, di dalam *loop*, semua garis bertambah terus karena mereka menuju arah yang sama. Hal ini menyebabkan medan *loop* menjadi efektif seperti magnet batang, dengan kutub-kutub yang berlawanan pada permukaan *loop*. (Hagamaier, 2002)



Gambar 2.3. Kutub-kutub magnet pada arus loop.

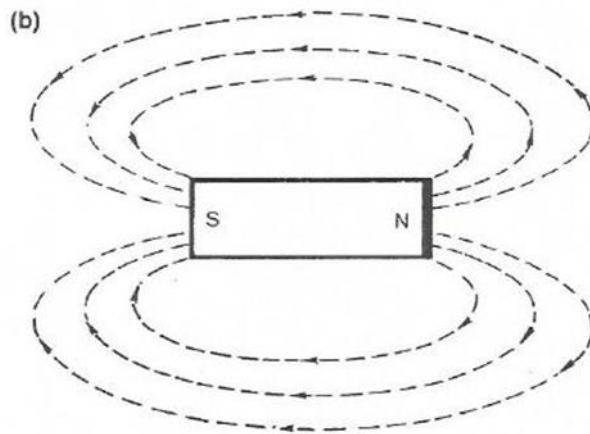
Sumber: Hagamaier, 2002

Sebuah kumparan yang mempunyai lilitan lebih dari satu biasanya disebut solenoid. Pada umumnya, sebuah solenoid yang ideal mempunyai panjang yang jauh lebih besar daripada diameternya. Seperti sebuah *loop* tunggal, solenoid memusatkan medan magnet kedalam kumparan dan menghasilkan kutub magnet yang berlawanan di ujungnya. Efek ini dilipatgandakan namun dengan jumlah yang bergantian. Mengacu pada Gambar 2.4, perlu diperhatikan bahwa garis-garis medan magnet memperkuat satu sama lain dan menuju arah yang sama di dalam kumparan. Medan magnet terkuat berada di pusat. Di luar kumparan, medan magnet memiliki sifat seperti sebuah magnet batang dengan kutub utara dan kutub selatan di ujung-ujung solenoida seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.5. (Hagamaier, 2002)



Gambar 2.4. Lilitan kumparan.

Sumber: Hagamaier, 2002

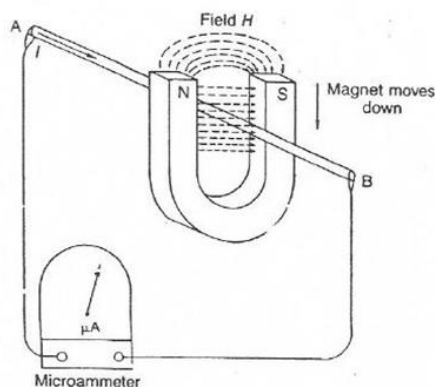


Gambar 2.5. Garis gaya magnet batang.

Sumber: Hagamaier, 2002

2.1.3. Induksi Magnet

Seperti halnya elektron-elektron yang bergerak berkaitan dengan medan magnet, ketika fluks magnetik bergerak, maka pergerakan garis-garis magnetik yang memotong konduktor memaksa elektron bebas dalam konduktor untuk bergerak dan menghasilkan arus. Proses ini disebut induksi, karena tidak ada hubungan secara fisik antara magnet dan konduktor. Arus induksi merupakan hasil dari generator sebagai kinerja mekanik yang diletakkan ke dalam sebuah medan magnet yang bergerak dan diubah ke dalam energi listrik ketika arus mengalir ke dalam konduktor. Tanpa adanya gerakan tersebut tidak akan timbul arus. Gerakan ini sangat diperlukan agar garis-garis medan magnet memotong konduktor secara melintang. Pemotongan ini dapat dicapai dengan gerakan dari medan magnet maupun konduktor. (Hagamaier, 2002)



Gambar 2.6. Arus yang dihasilkan fluks magnet.

Sumber: Hagamaier, 2002

Induksi elektromagnet akan terjadi apabila konduktor dan garis-garis fluks magnet berada pada posisi tegak lurus (normal) satu sama lain sehingga gerakan dapat membuat fluks memotong luas penampang konduktor secara melintang. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6, konduktor berada pada sudut yang tepat terhadap garis-garis magnet di dalam medan magnet H. Alasan mengapa harus tegak lurus adalah untuk membuat arus induksi memiliki medan magnet di bidang yang sama dengan fluks eksternal. Ketika magnet bergerak ke bawah, aliran arus berada pada arah seperti yang ditunjukkan (A menuju B). Jika magnet yang bergerak ke atas, arus akan mengalir dalam arah yang berlawanan. (Hagemaier, 2002)

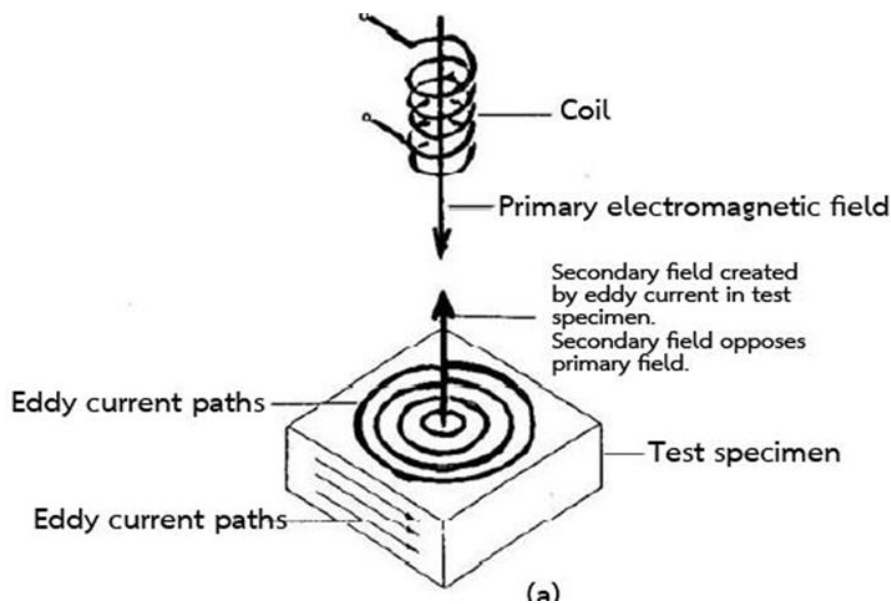
2.2. Pengujian Eddy Current

Pengujian *eddy current* termasuk dalam salah satu metode pengujian tanpa merusak (*non-destructive testing*), yang dipelopori oleh Friedrich Forster pada tahun 1940-an, dan mengalami kemajuan yang sangat pesat dalam perkembangannya sejak saat itu. Pengujian *eddy current* dapat dilakukan pada semua material yang memiliki sifat konduktif terhadap listrik. Pengujian ini dapat menemukan ukuran retak permukaan maupun di bawah permukaan, pengukuran ketebalan lapisan logam maupun non-logam pada material logam, pengukuran konduktivitas listrik dan permeabilitas magnetik, serta perkiraan adanya korosi pada suatu material logam. Konduktivitas listrik dan permeabilitas magnet dapat berkaitan dengan struktur material, seperti kekerasan, komposisi kimia, ukuran butir (*grain*), dan kekuatan material. (Blitz, 1997)



Gambar 2.7. Contoh alat eddy current.

Pengujian *eddy current* merupakan pengujian tanpa merusak yang didasarkan pada prinsip-prinsip induksi elektromagnetik. Elektromagnetik, arti sederhananya adalah proses dimana ada keterlibatan aliran listrik dan magnet. Aliran listrik, dalam kondisi tertentu dapat menimbulkan magnet. Magnet, dalam kondisi tertentu juga dapat menimbulkan aliran listrik. Ketika arus bolak-balik (AC) melewati sebuah kumparan, terjadi perubahan medan magnet. Kemudian saat kumparan diletakkan di benda uji yang konduktif, medan magnet akan menginduksikan arus yaitu arus eddy (Sadek, 2006). *Eddy current* adalah arus listrik yang terinduksi yang mengalir dan membentuk lintasan melingkar. Arah dari arus eddy yang diinduksikan dan medan magnet yang ditimbulkan akan berlawanan dengan arah arus primer (arus pada kumparan) serta medan magnet primer (medan magnet pada kumparan) (Workman & Moore, 2012), ditunjukkan dengan Gambar 2.8.

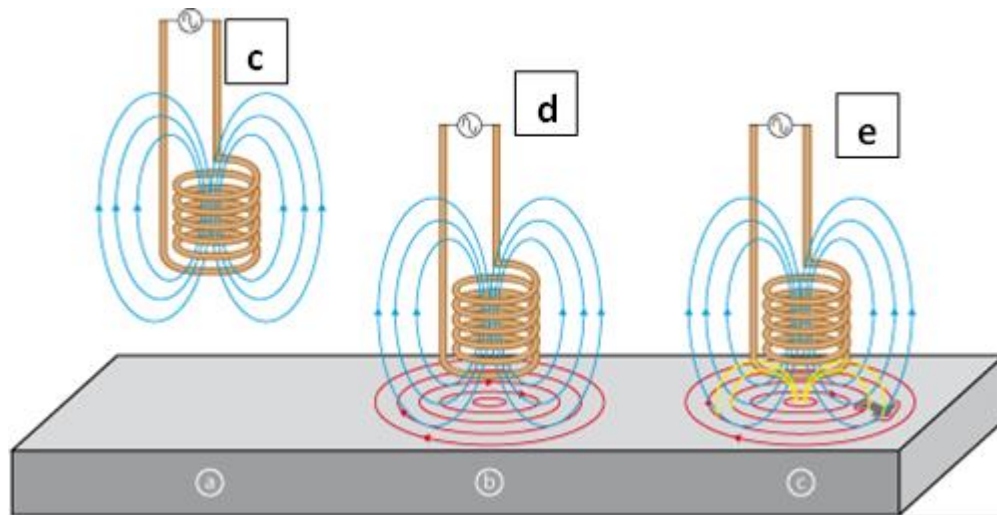


Gambar 2.8. Arah arus eddy yang berlawanan terhadap arus utama.

Sumber: Workman & Moore, 2012

2.2.1. Prinsip Pengujian

Secara sederhana, pengujian dengan metode *eddy current* memanfaatkan prinsip induksi elektromagnet, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Prinsipnya, arus listrik dialirkan pada kumparan untuk membangkitkan medan magnet didalamnya. Jika medan magnet ini didekatkan pada permukaan benda logam yang akan diinspeksi, maka akan terbangkit arus eddy. Untuk lebih jelasnya, ditunjukkan dengan Gambar 2.9 dan penjelasan sebagai berikut:



Gambar 2.9. Prinsip pengujian eddy current.

Sumber: www.olympus-ims.com

- Untuk menginduksikan arus bolak-balik pada material uji, digunakan sebuah kumparan. Kumparan tersebut biasanya dibungkus dengan bahan isolator dan disebut dengan *probe*.
- Arus bolak-balik dialirkan pada *probe* tersebut dengan frekuensi yang telah ditentukan.
- Saat arus tersebut melewati *probe* akan terbentuk medan magnet di dalam dan disekitarnya.
- Ketika *probe* diletakkan pada material uji, maka terjadi induksi elektromagnet dan terbentuk arus eddy pada material tersebut.
- Arus eddy yang mengalir akan menghasilkan medan magnet sendiri pada material tersebut, dimana arahnya berlawanan dengan medan magnet yang dihasilkan *probe*.
- Ketika terdapat cacat pada material, maka lintasan arus eddy akan terganggu dan mengakibatkan adanya perubahan impedansi. Perubahan impedansi inilah yang dapat dibaca pada peralatan sebagai hasil pengujian.

2.2.2. Faktor Penting dalam Pengujian

- **Konduktivitas**

Konduktivitas atau daya hantar adalah kemampuan sebuah material dalam menghantarkan arus listrik. Akan tetapi definisi ini dirasa kurang praktis dalam penerapan pengujian arus eddy, maka pada pengujian arus eddy dipakai sistem IACS (*International Annealed Copper Standard*). Dalam sistem IACS, konduktivitas dari

tembaga murni dipilih sebagai standar dan konduktivitas material lainnya dinyatakan sebagai presentase dari standar ini. (Sadek, 2006)

- Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan dari suatu material untuk memusatkan garis gaya magnet. Faktor ini hanya akan berpengaruh pada material yang bersifat ferromagnetik. Efek ini dapat terlihat jelas dengan meningkatnya ketebalan material, dimana permeabilitas dapat mengurangi kemampuan penetrasi *eddy current*. (Hagemaier, 2002)

- Frekuensi

Frekuensi dari suatu arus bolak-balik dapat diartikan sebagai jumlah siklus (satu siklus lengkap) dari arus yang terjadi dalam satu detik. Satuan frekuensi adalah “Hertz”, dimana 1 Hz merupakan satu siklus per detik. Frekuensi pengujian merupakan faktor yang paling penting dalam pengujian *eddy current* karena dapat mempengaruhi kedalaman penembusan yang dapat dicapai (Sadek, 2006). Kedalaman penembusan pada pengujian *eddy current* akan dibahas pada sub-bab selanjutnya. Pengujian *eddy current* biasanya menggunakan frekuensi dengan rentang kilohertz (kHz) hingga megahertz (MHz).

Saat frekuensi pengujian meningkat, maka tingkat sensitivitas terhadap pendeteksian juga meningkat, tapi kemampuan penetrasi *eddy current* ke dalam material akan menurun. Jika frekuensi menurun, maka tingkat sensitivitas terhadap pendeteksian menurun, tapi kemampuan penetrasi *eddy current* akan meningkat. Frekuensi optimal yang terbaik ditentukan oleh eksperimen. (Hagemaier, 2002)

- *Lift-off*

Lift-off merupakan suatu istilah yang digunakan untuk mendefinisikan jarak yang terjadi diantara kumparan pengujian (*probe*) dengan material yang akan diuji (Sadek, 2006). Dapat dikatakan secara lebih sederhana pada prakteknya, *lift-off* merupakan perubahan yang terjadi pada arus eddy saat *probe* dijauhkan dari permukaan material yang diuji. Saat melakukan pengujian dengan tujuan untuk mencari diskontinuitas yang terjadi pada benda uji, sinyal dari *lift-off* harus dapat dibedakan dengan sinyal yang dihasilkan dari diskontinuitas secara jelas. Untuk pengujian dengan tujuan mencari ketebalan lapisan cat pada material uji, maka harus dibuat *Standard lift-off*. *Standard lift-off* mudah dibuat dengan menempelkan material non-konduktif (tidak menghantarkan listrik) yang telah diketahui ketebalannya di atas permukaan sampel material yang diuji (Cox, 1997).

- *Skin effect*

Pengujian *eddy current* paling sensitif terhadap variabel-variabel benda uji yang letaknya dekat dengan kumparan pengujian akibat adanya *skin effect*. *Skin effect* adalah hasil dari interaksi yang saling berhubungan antara *eddy current*, frekuensi pengujian, konduktivitas dan permeabilitas benda uji. Akibat adanya *skin effect*, konsentrasi *eddy current* di dalam benda uji terjadi paling dekat dengan kumparan pengujian dan menjadi lebih jelas saat frekuensi pengujian, konduktivitas, dan permeabilitas benda uji bertambah besar. (Sadek, 2006)

- *Signal-to-noise ratio*

Signal-to-noise ratio adalah perbandingan sinyal pengujian arus eddy yang menjadi perhatian terhadap sinyal yang tidak diinginkan. Sumber-sumber gangguan yang umum terjadi adalah variasi pada benda uji seperti kekasaran, bentuk, dan ukuran serta homogenitas. Gangguan kelistrikan lainnya dapat diakibatkan oleh sumber-sumber luar seperti mesin las, motor listrik dan generator. *Signal-to-noise ratio* merupakan keadaan yang terjadi pada hampir seluruh metode pengujian tidak merusak (*non-destructive testing*) dan memiliki persyaratan 3:1 (Sadek, 2006). Hal ini berarti bahwa sinyal pengujian yang menjadi perhatian harus menunjukkan respon paling jelas dibandingkan sinyal lain yang tidak diinginkan.

2.2.3. Pemilihan Sistem Frekuensi

Kedalaman penetrasi arus eddy pada sebuah material sangat dipengaruhi oleh frekuensi pengujian, permeabilitas, dan konduktivitas. Frekuensi yang lebih tinggi biasanya membatasi arus eddy hanya berada pada permukaan material yang paling dekat dengan kumparan pengujian utama (*probe*). Frekuensi yang lebih rendah memungkinkan arus eddy untuk melakukan penetrasi yang lebih dalam. Penggunaan frekuensi tinggi biasanya untuk mendeteksi retak kecil pada permukaan. Frekuensi menengah sangat berguna untuk melakukan pengukuran konduktivitas sedangkan frekuensi rendah biasanya dibutuhkan untuk memeriksa material yang tebal (Sadek, 2006). Dalam memilih frekuensi, terdapat dua sistem yang umum digunakan yaitu *Single Frequency Systems* dan *Multiple Frequency Systems*.

Single Frequency Systems ini berhubungan dengan sistem kumparan yang dialiri oleh satu macam frekuensi. Dengan mengatur frekuensi, seorang teknisi dapat lebih responsif terhadap variabel benda uji. Sistem ini dipakai dalam pemeriksaan *surface weld*.

Sedangkan untuk *Multiple Frequency Systems* menggunakan lebih dari satu frekuensi dinamakan sistem multi frekuensi atau multi parameter. Kumparan pengujian dialiri dengan tiga frekuensi atau lebih secara serentak. Meskipun beberapa frekuensi dapat diberikan pada kumparan pengujian secara serentak atau berurutan, masing-masing frekuensi individu mengikuti aturan yang ditetapkan untuk *single frequency system*. Sinyal yang dihasilkan oleh berbagai frekuensi seringkali digabungkan atau dicampur di dalam rangkaian elektronik dimana sinyalnya ditambahkan atau dikurangkan secara aljabar untuk memperoleh hasil yang diinginkan. Sistem ini diaplikasikan pada pemeriksaan tubing. (Cox, 1997)

2.2.4. Kalibrasi pada Pengujian

Kalibrasi pada pengujian *eddy current* dapat dilakukan menurut ASME Boiler and Pressure Vessel Code – 2015, Section V - Appendix VII. Frekuensi *probe* dan pengaturan *gain* harus dipilih untuk memberikan besaran sudut fase yang sesuai saat menyediakan penembusan yang mencukupi untuk memastikan bahwa indikasi cacat di bawah permukaan terdeteksi. Tampilan *gain* baik pada sumbu vertikal maupun horizontal harus diatur agar memberikan respon sinyal yang sama. Instrument ET harus disesuaikan untuk memutar sudut fase agar respon sinyal *lift-off* berada pada posisi 270 derajat terhadap bidang horizontal. Arah *scanning* harus tegak lurus terhadap panjang diskontinuitas. *Gain* harus diatur untuk dapat menampilkan diskontinuitas dengan kedalaman 0.020 in (0.5 mm) pada 100% dari ketinggian layar penuh. Pada pengaturan *gain* ini, diskontinuitas dengan kedalaman 0.010 in (0.24 mm) dapat ditampilkan mendekati 25% dari ketinggian layar penuh. Pengaturan *gain* untuk kedua referensi diskontinuitas ini dapat dilakukan pada frekuensi yang terpisah.

Menyeimbangkan (*balancing*) instrumen dapat dilakukan dengan menempatkan *probe* di permukaan yang tidak terdapat diskontinuitas. Kecepatan *scanning* harus disesuaikan agar terbentuk tampilan yang dapat digunakan untuk evaluasi. *Persistence* (salah satu fungsi alat untuk mengatur lama tampilan) dari layar harus disesuaikan agar perbandingan dari masing-masing respon sinyal diskontinuitas terlihat jelas. Layar harus selalu dibersihkan untuk mencegah tampilan menjadi terlalu penuh. Tampilan harus diseimbangkan tepat sebelum membuat pengaturan awal dan akhir dari sudut fase dan amplitude. Respon dari amplitude dan sudut fase yang dihasilkan dari *scanning*

diskontinuitas baik yang berada pada permukaan maupun di bawah permukaan harus dicatat. (ASME Section V, 2015)

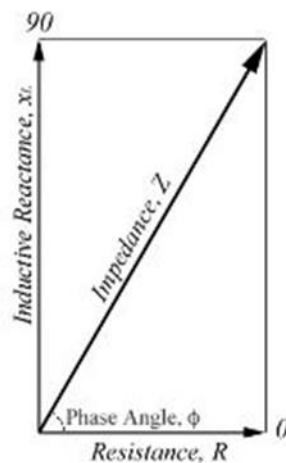
Adapun prosedur kalibrasi dalam pengujian pada sambungan las material besi menurut *DNV Classification Notes No. 7 - 2012*:

1. Atur frekuensi.
2. Lakukan *balancing* pada alat dengan mengangkat *probe* ke udara.
3. Gunakan kontrol X dan Y untuk menyesuaikan posisi spot ke tengah layar monitor (sumbu X) dan minimal 1.5 bagian dari layar monitor di atas garis dasar (sumbu Y), bertujuan untuk memastikan tidak ada *noise-signal* yang ikut muncul pada layar monitor.
4. Letakkan *probe* diatas blok kalibrasi tanpa *cover* untuk memastikan tidak berada dekat dengan celah retak buatan (slot) manapun. Lakukan *balance* pada peralatan.
5. Untuk memperoleh tampilan retak yang tepat, gerakkan/jalankan *probe* pada slot dengan kedalaman 2.0 mm. Lakukan dengan perlahan, pastikan sumbu memanjang dari *probe* tetap paralel/sejajar. Indikasi dari slot akan tampak pada layar.
6. Tingkat sensitivitas harus disesuaikan untuk mengimbangi ketebalan cat yang diukur, berdasarkan prosedur yang ada.
7. Untuk pengujian dengan lapisan cat pada benda uji, letakkan lapisan non-logam dengan ketebalan aktual yang setara dengan ketebalan cat yang diukur pada blok kalibrasi, atau yang mendekati ketebalan yang lebih tinggi dari lapisan non-logam.
8. Letakkan *probe* tersebut di atas blok kalibrasi yang dilapisi, pastikan lokasinya tidak berdekatan dengan sembarang takik dan lakukan *balance* pada peralatan.
9. Geser *probe* ke atas takik dengan kedalaman 2.0 mm. Atur pengaturan *gain* hingga amplitudo sinyal yang berasal dari slot mencapai 80% ketinggian layar.

Untuk prosedur pengujian las-lasan pada material lainnya, dapat dilakukan seperti langkah-langkah di atas (1-9) namun pemilihan frekuensi, *probe-probe*, kalibrasi, dan pola *scanning* harus dioptimasi terhadap material aktual, dan bisa sangat menyimpang dari apa yang disarankan untuk material-material feritik (besi). Oleh karenanya, pengujian harus didasarkan pada pengalaman praktis dengan perangkat dan *probe-probe* yang sesuai, dan harus ditunjukkan di dalam prosedur khusus. (DNV, 2012)

2.2.5. Sistem Analisis Fase

Karena perubahan impedansi diikuti oleh pergeseran fase, maka dimungkinkan untuk mengamati pergeseran fase ketimbang perubahan impedansi dalam menentukan kondisi yang terjadi di dalam material (Sadek, 2006). Impedansi merupakan hasil dari hambatan dan reaktansi, dimana saling tegak lurus satu sama lain dalam pengertian elektronik sehingga perubahan impedansi dapat digambarkan pada sebuah grafik X-Y untuk berbagai kondisi pengujian. Penggambaran tersebut dikenal dengan diagram bidang impedansi (*impedance-plane diagram*) ditunjukkan pada Gambar 2.10. Diagram tersebut merupakan diagram dua dimensi yang menampilkan amplitudo dan sudut fase dari sebuah respon pengujian (Hagemaier, 2002).



Gambar 2.10. Diagram bidang impedansi.

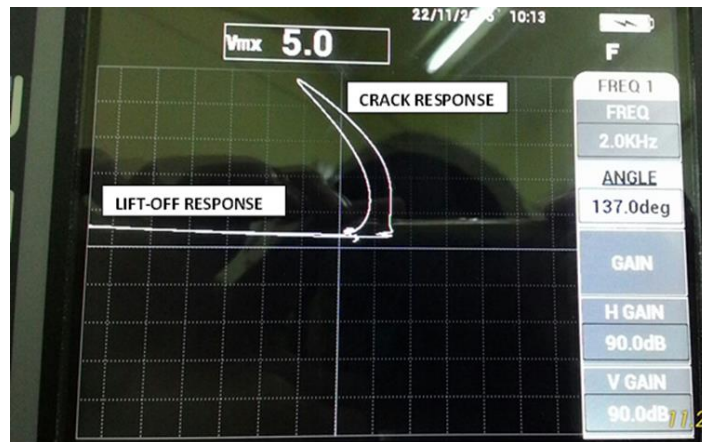
Sumber: www.nde-ed.org

Perubahan impedansi dan pergeseran fase dapat diamati sehingga akan lebih banyak informasi yang diperoleh. Oleh karena itu, dapat dilakukan pemisahan respon sinyal yang diamati seperti respon sinyal diskontinuitas dan sinyal yang diabaikan seperti *lift-off*. Hal ini merupakan suatu keuntungan dalam menggunakan sistem analisis fase dan juga merupakan penemuan penting dalam peningkatan kemampuan pendeteksian serta keandalan informasi yang didapat dari pengujian *eddy current*. (Hagemaier, 2002)

2.2.6. Tampilan Sinyal Pengujian

Teknologi berkembang dengan sangat pesat. Hal tersebut juga memengaruhi kemajuan perkembangan peralatan pengujian *eddy current* yang digunakan sehingga

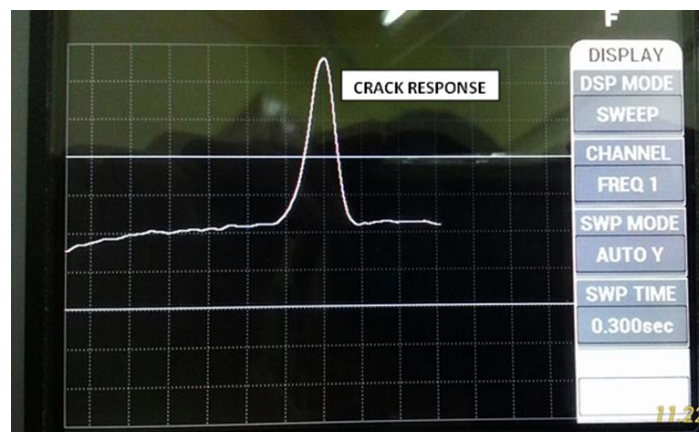
semakin memudahkan operator untuk melakukan pengolahan data dari hasil pengujian. Diagram bidang impedansi kini dapat diolah sedemikian rupa oleh perangkat pengujian *eddy current* dan disajikan dalam bentuk digital pada sebuah layar LCD (*Liquid Crystal Display*). Layar LCD digital akan bekerja seperti halnya layar komputer. Layar tersusun dari serangkaian *pixel* yang diatur oleh rangkaian *output* seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Tampilan diagram bidang impedansi pada LCD digital.

Gambar 2.11 sinyal yang muncul akibat adanya *lift-off* dan sinyal yang timbul karena adanya diskontinuitas dapat dibedakan dengan cukup jelas. Hal ini tentunya dapat diatur dengan melakukan penyesuaian variable (frekuensi, *gain*, sudut peralatan, dan lain-lain) pada alat untuk berbagai kondisi pengujian.

Pada penelitian ini, tampilan sinyal pengujian yang digunakan adalah jenis *time-based* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 berikut ini.

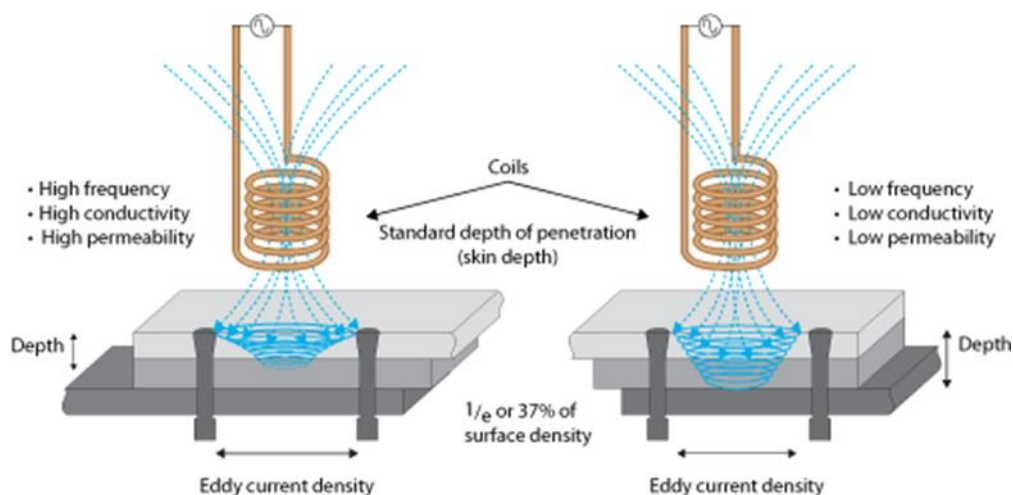


Gambar 2.12. Tampilan time-based pada LCD digital.

Tampilan pada *time-based* terlihat seperti bentuk gelombang, dimana sumbu Y menunjukkan amplitudo sebagai respon dari adanya sebuah diskontinuitas dan sumbu X menunjukkan waktu. Semakin tinggi sinyal amplitudo yang muncul, maka menunjukkan ukuran diskontinuitas semakin besar atau jarak diskontinuitas dari material yang diuji semakin dekat dengan permukaan yang sedang di-*scan*. *Lift-off* juga menyebabkan munculnya sinyal amplitudo pada tampilan ini namun dapat dibedakan polanya dengan sinyal amplitudo yang disebabkan oleh adanya diskontinuitas.

2.2.7. Kedalaman Penembusan

Arus eddy tidak terdistribusi secara merata pada material uji. Arus-eddy yang terbentuk cenderung rapat pada permukaan material uji yang paling dekat dengan kumparan (*probe*) dan menjadi semakin berkurang kerapatannya seiring dengan bertambahnya jarak di bawah permukaan dari material uji tersebut. Pada beberapa jarak di bawah permukaan pada suatu material yang tebal, tidak terdapat arus eddy yang mengalir. Kedalaman penembusan sangat dipengaruhi oleh frekuensi, konduktivitas, dan permeabilitas dari material yang diuji (Sadek, 2006). Penjelasan mengenai frekuensi, konduktivitas, dan permeabilitas sudah dibahas pada sub-bab sebelumnya.

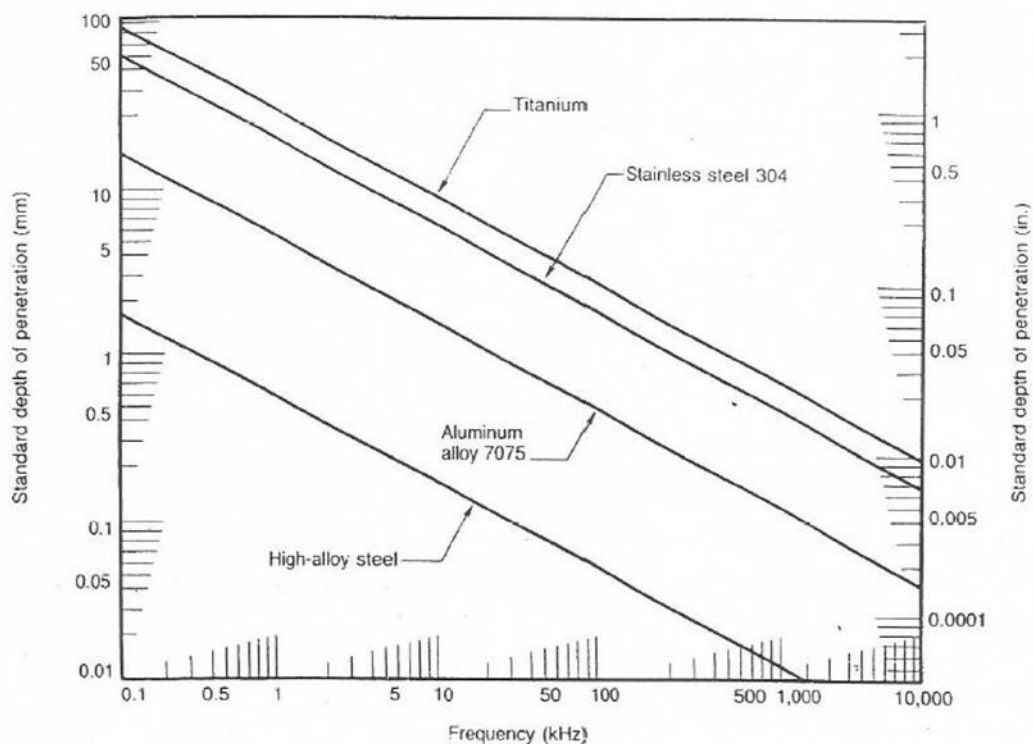


Gambar 2.13. Kedalaman penembusan eddy current.

Sumber: www.azom.com

Pada Gambar 2.13 di atas dapat disimpulkan bahwa:

1. Kedalaman penetrasi menurun saat frekuensi meningkat.
2. Kedalaman penetrasi meningkat saat frekuensi menurun.
3. Semakin tinggi konduktivitas, maka semakin rendah penetrasi.
4. Semakin tinggi permeabilitas, maka semakin rendah penetrasi.



Gambar 2.14. Grafik kedalaman penetrasi standard.

Sumber: Hagmaier, 2002

Kedalaman penetrasi arus eddy memiliki standar yang telah ditentukan. Kedalaman penetrasi standar didefinisikan sebagai kedalaman di mana kerapatan *eddy current* berkurang sebanyak 37% dari kerapatan arus yang terdapat di permukaan material (Hagmaier, 2002). Gambar 2.14 menunjukkan kedalaman penetrasi standar dari beberapa material pada frekuensi pemeriksaan yang berbeda. Grafik tersebut juga menunjukkan pengaruh konduktivitas dan permeabilitas terhadap kedalaman penetrasi. Sebagai contoh, kedalaman penetrasi aluminium lebih kecil daripada kedalaman penetrasi *stainless steel* pada frekuensi sembarang. Hal ini dikarenakan konduktivitas dari aluminium lebih tinggi jika dibandingkan *stainless steel*.

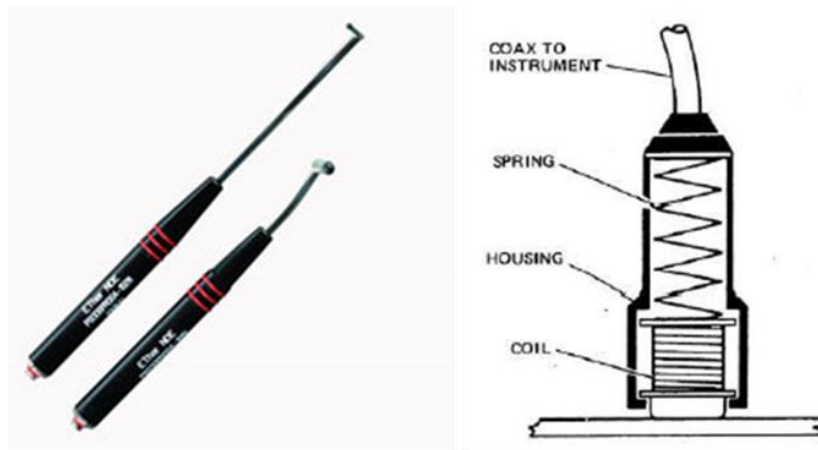
2.2.8. Kumparan Pengujian

Terdapat beberapa jenis kumparan pengujian *eddy current*. Pemilihan jenis kumparan yang akan digunakan bergantung pada kondisi pengujian. Kumparan pengujian (*inspection coils*) dapat dibedakan menjadi tiga jenis yang berkaitan dengan struktur fisik, susunan, dan jenis pengujian yang dilakukan, yaitu *Probe Coils*, *Bobbin Coils*, dan *Encircling Coils*.

2.2.8.1. Probe Coils

Probe coils biasa disebut juga dengan kumparan permukaan, kumparan datar, dan kumparan *pancake*. Pada *probe* jenis ini terdapat mekanisme pegas untuk meminimumkan *lift off*. Pada ujung *probe*, diberikan lapisan epoxy yang melindungi kumparan dan memberikan ketahanan terhadap keausan. *Probe* ini dapat digunakan secara manual maupun dipasangkan pada peralatan pengujian otomatis. Luas medan magnet yang dihasilkan dari kumparan mendekati dari ukuran (diameter) kumparan tersebut. (Sadek, 2006)

Kumparan permukaan adalah salah satu kumparan pengujian yang paling umum digunakan pada pengujian *eddy current*. Kumparan ini digunakan untuk memeriksa permukaan yang datar atau permukaan yang memiliki lengkungan dengan ukuran relatif sangat besar terhadap ukurannya (mendekati datar). Ujung kumparan permukaan ini juga dapat didesain mempunyai lengkungan untuk menyesuaikan kontur permukaan benda yang akan diuji (Workman & Moore, 2012). Saat menggunakan kumparan permukaan beresolusi tinggi, permukaan benda uji harus di-*scan* dengan teliti untuk menjamin area pemeriksaan yang menyeluruh. *Scanning* secara teliti tentunya membutuhkan banyak waktu. Oleh karenanya, pemeriksaan menggunakan kumparan permukaan pada benda uji yang besar biasanya dibatasi pada daerah yang kritis saja (Sadek, 2006). Tampilan kumparan permukaan diperlihatkan pada Gambar 2.15.

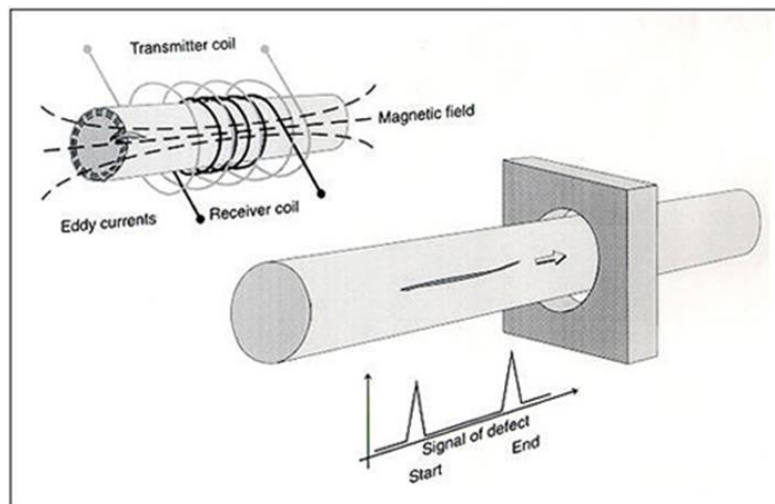


Gambar 2.15. Tampilan dan susunan probe coil.

Sumber: www.ndtsupply.com

2.2.8.2. Encircling Coil

Encircling coils juga biasa disebut kumparan diameter luar dan kumparan *feed-through*. Kumparan ini digunakan untuk menguji permukaan diameter luar dari suatu benda yang dilewatkan pada sisi bagian dalam kumparan. *Encircling coil* umumnya dipakai untuk memeriksa produk berbentuk tubular dan batang. Kawat dililitkan mengelilingi *tube*. Ini berarti bahwa arus utama di dalam kawat mengalir mengitari *tube*. Arus eddy yang terbentuk juga mengelilingi *tube*, sehingga akan sulit mendeteksi cacat yang searah dengan diameter *tube* (melingkar) karena tidak tegak lurus dengan arus eddy yang terbentuk (Sadek, 2006). *Tube* yang akan diperiksa pada pengujian dilewatkan ke dalam kumparan diameter luar ini (Workman & Moore, 2012) seperti yang terlihat pada Gambar 2.16.



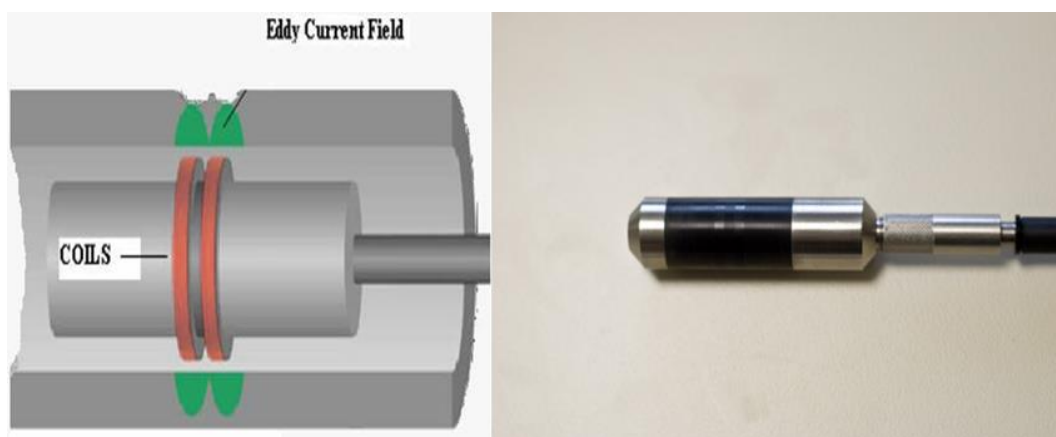
Gambar 2.16. Pemeriksaan sebuah tube dengan encircling coil.

Sumber: www.apac.totalmateria.com

Kekuatan arus eddy sangat besar di dekat permukaan *tube* dan menurun saat berada di tengah-tengah *tube*. Apabila diameter tube yang diuji sangat besar, maka tidak akan ada arus eddy yang terbentuk pada tengah tube. Hal ini berarti, sensitivitas *encircling coils* cukup rendah untuk cacat yang terletak jauh di bawah permukaan *tube*.

2.2.8.3. Bobbin Coil

Bobbin coil, kumparan diameter dalam, dan kumparan dalam merupakan istilah untuk kumparan yang digunakan pada saat melakukan pengujian dari sisi dalam benda uji dengan bentuk silinder seperti pada Gambar 2.17. Kumparan jenis ini dapat mendeteksi adanya diskontinuitas dan perubahan ketebalan yang terjadi pada sisi dalam dinding silinder. Arus yang diinduksikan mengitari seluruh keliling dalam silinder sehingga seluruh bagian yang mengelilingi kumparan dapat diperiksa. Karena arus yang diinduksikan di dalam material paling kuat di dekat kumparan, maka kumparan dalam paling sensitif mendeteksi retak yang terletak pada permukaan atau dekat permukaan bagian dalam silinder (Sadek, 2006). Seperti yang terlihat pada Gambar dan penjelasannya, dapat dikatakan bahwa kumparan dalam merupakan kebalikan dari kumparan luar. Kumparan dalam biasanya digunakan untuk memeriksa *tube* pada sebuah *heat exchanger*.



Gambar 2.17. Bobbin Coil.

Sumber: www.worldwide-inspection.com

2.2.9. Susunan Kumparan

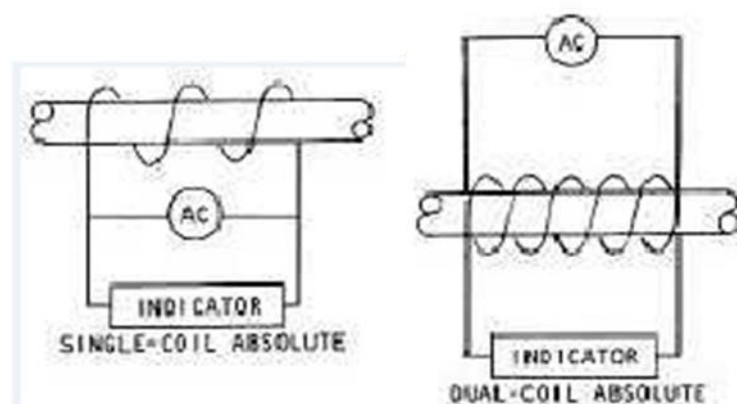
Selain dapat dikelompokkan berdasarkan struktur fisiknya, kumparan pengujian *eddy current* dikelompokkan berdasarkan pada susunan elektrisnya. Terdapat tiga jenis

susunan kumparan dasar yang dapat digunakan pada kumparan permukaan (*surface*), dalam (*bobbin*), dan luar (*encircling*) yaitu susunan *absolute*, *differential*, dan *hybrid*.

2.2.9.1. Absolute Coil

Susunan kumparan ini dikatakan *absolute* karena melakukan pengukuran tanpa referensi atau perbandingan langsung terhadap suatu standard saat pengukuran dilakukan (Sadek, 2006). Masalah yang timbul saat menggunakan susunan *absolute coil* yaitu kesulitan saat mendeteksi perubahan nilai impedansi yang kecil. Perubahan parameter pada kumparan yang disebabkan oleh faktor lingkungan dan *lift-off* seringkali dapat menutupi perubahan yang diakibatkan oleh diskontinuitas, hal ini membuat interpretasi sinyal hasil pengujian menjadi sangat sulit. (Workman & Moore, 2012)

Absolute coil memiliki dua macam jenis kumparan yang umum digunakan, yaitu *single coil* dan *double coil* yang tampak pada Gambar 2.18. Pada *single coil*, *coil* yang sama digunakan untuk menginduksikan arus eddy pada benda uji dan juga untuk mendeteksi reaksi benda uji terhadap arus eddy. *Single coil* hanya akan memeriksa pada daerah yang berada di bawahnya. Seperti namanya, *double coil* menggunakan dua kumparan. Kumparan pertama digunakan untuk menghasilkan medan magnet dan menginduksikan arus eddy di dalam suatu benda sedangkan kumparan kedua untuk mendeteksi perubahan aliran arus eddy yang terjadi. Lokasi kumparan kedua biasanya terletak di dalam kumparan pertama. (Sadek, 2006)

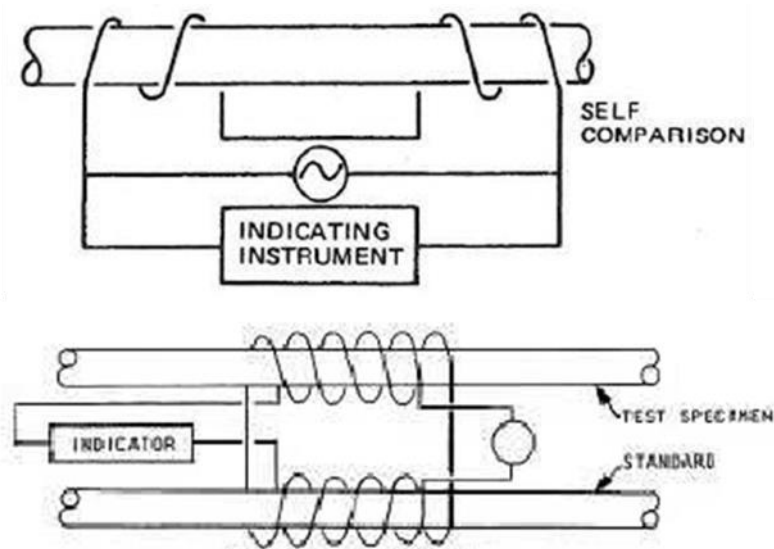


Gambar 2.18. Single coil dan dual coil absolute.

Sumber: www.chemical-biological.tpub.com

2.2.9.2. Differential Coil

Differential coils merupakan dua kumparan atau lebih yang dihubungkan dengan sedemikian rupa sehingga apabila terjadi perbedaan elektromagnetik pada daerah di bawah kumparan akan menyebabkan munculnya sinyal ketidakseimbangan diantara kedua kumparan tersebut (Workman & Moore, 2012). Dapat dikatakan bahwa susunan ini lebih sensitif terhadap perubahan impedansi yang kecil. *Differential coil* terbagi menjadi dua jenis yaitu *Self-comparison Differential* dan *External Reference Differential* yang ditunjukkan pada Gambar 2.19 di bawah.



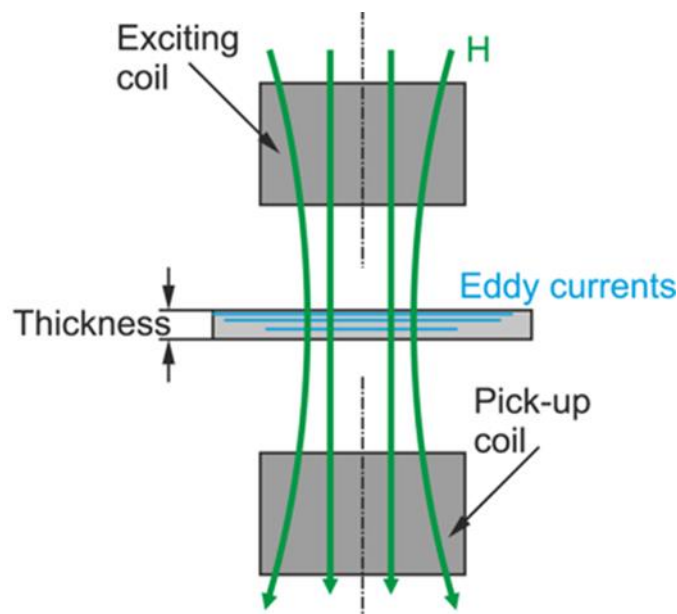
Gambar 2.19. Self-comparison differential dan external reference differential.

Sumber: www.chemical-biological.tpub.com

Self-comparison Differential tersusun atas dua kumparan yang dihubungkan secara elektrik dan arah gulungannya berlawanan satu sama lain. Hal ini menyebabkan sinyal yang ditimbulkan saling menghilangkan satu sama lain apabila kondisi benda uji yang berada di bawah kedua kumparan tidak terdapat perbedaan (Sadek, 2006). Dapat dikatakan bahwa kumparan jenis ini kedua kumparannya melakukan perbandingan terhadap benda uji itu sendiri. Sedangkan *External Reference Differential* melakukan perbandingan terhadap benda lain dengan benda yang diuji atau biasa disebut dengan *reference standard*.

2.2.9.3. Hybrid Coils

Hybrid coils terdiri dari dua kumparan yang diletakkan secara berlawanan dengan tepat satu sama lain pada sebuah benda uji. Susunan ini dipakai saat menggunakan teknik *through transmission*. Teknik ini menginduksikan arus eddy ke dalam benda uji dengan kumparan pemancar pada salah satu sisi benda uji dan kumparan penerima pada sisi benda uji sebaliknya (arah berlawanan) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.20. Hanya material tipis yang dapat diperiksa menggunakan *hybrid coils* ini. (Sadek, 2006)



Gambar 2.20. Cara kerja hybrid coils.

Sumber: www.mdpi.com

2.2.10. Aplikasi Pengujian

Aplikasi pengujian *eddy current* di dalam industri sangatlah banyak dan luas. Pengujian *eddy current* dapat mendeteksi diskontinuitas yang terletak dengan arah tegak lurus terhadap arus eddy yang diinduksikan pada material atau mendeteksi perubahan ketebalan suatu material dan mengukur ketebalan lapisan non-konduktif. Diskontinuitas tersebut diantaranya: retak (*cracks*), *seams*, *laps*, lubang, dan laminasi pada sebuah pelat. Semua material yang dapat menghantarkan listrik baik ferromagnetik maupun non-ferromagnetik dapat diperiksa menggunakan *eddy current*. (Sadek, 2006)

Pada mulanya pengujian *eddy current* sangat banyak dipakai dalam industri pesawat terbang karena sebagian besar material pesawat terbuat dari aluminium yang mempunyai sifat penghantar listrik cukup baik (Workman & Moore, 2012), antara lain:

1. Pengukuran ketebalan logam dan *coating*.
2. Penyortiran campuran paduan aluminium.
3. Evaluasi terhadap umur atau kerusakan akibat panas pada aluminium.
4. Pengecekan lubang baut pada struktur pesawat.
5. Mendeteksi pengelupasan kulit pesawat akibat korosi.
6. Mendeteksi retak permukaan maupun di bawah permukaan pada struktur aluminium pesawat.

Selain pada industri pesawat terbang, pengujian *eddy current* di Indonesia dewasa ini banyak digunakan untuk memeriksa *tube* pada *heat exchanger*. Pemeriksaan meliputi adanya cacat permukaan, pengurangan ketebalan dinding *tube*, dan lain-lain. Aplikasi pengujian *eddy current* tidak dapat menentukan ukuran indikasi retak secara pasti, tetapi hanya dapat memperkirakannya berdasarkan perbedaan besar sinyal *lift-off* dan sinyal retak yang dihasilkan satu indikasi dengan indikasi lainnya. Untuk mengetahui ukuran panjang dan kedalaman secara pasti harus dilanjutkan dengan pengujian menggunakan metode NDT lainnya.

2.2.11. Keuntungan dan Kelemahan Pengujian Eddy Current

Keuntungan yang dimiliki pengujian *eddy current* (Singh, 2015), antara lain:

1. Sensitif terhadap retak permukaan dan retak di dekat permukaan.
2. Inspeksi dapat memberi hasil dengan cepat, sehingga dapat digunakan untuk inspeksi masal suatu produk.
3. Peralatannya sangat mudah dibawa, ringan, dan tidak membutuhkan listrik (*battery powered*).
4. Metodenya dapat digunakan untuk banyak hal, seperti pengukuran konduktifitas.
5. Hanya membutuhkan persiapan pada material (*surface preparation*) yang singkat dan tidak diperlukan pembersihan material setelah pengujian.
6. Resiko pengujian yang sangat kecil.
7. Tidak perlu menghilangkan cat dengan ketebalan tertentu pada benda yang akan diuji.

Akan tetapi, metode ini juga memiliki kelemahan (Singh, 2015), antara lain:

1. Hanya dapat diaplikasikan pada material yang bersifat konduktif (*electrically conductive*).
2. Rentan terhadap perubahan permeabilitas material yang dapat memengaruhi hasil uji.
3. Ujung permukaan dan kekasaran permukaan material dapat mempengaruhi hasil uji.

4. Memiliki batasan untuk daerah inspeksi yang luas. Daerah inspeksi yang luas membutuhkan tambahan alat yang tidak murah harganya.
5. Skill dan latihan dibutuhkan lebih mendalam dibandingkan teknik atau metode lainnya.
6. Retak yang posisinya sejajar dengan arah lilitan atau gulungan probe dan arah pembacaan dari probe dapat tidak terdeteksi.

2.3. Aluminium



Gambar 2.21. Pelat Aluminium.

Sumber: www.swagatsteel.co.in

Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap karat dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Logam ini dipakai secara luas dalam bidang kimia, listrik, bangunan, dan transportasi. Kemajuan akhir-akhir ini dalam teknik pengelasan busur listrik dengan gas mulia menyebabkan pengelasan aluminium dan paduannya menjadi sederhana dan dapat dipercaya. Karena hal ini maka penggunaan aluminium dan paduannya di dalam banyak bidang telah berkembang. (Wiryosumarto & Okumura, 2000)

Paduan aluminium dapat diklasifikasikan dalam tiga cara, yaitu berdasarkan pembuatan, dengan klasifikasi paduan cor dan paduan tempa, berdasarkan perlakuan panas dengan klasifikasi, dapat dan tidak dapat dilaku-panaskan dan cara ketiga yang berdasarkan unsur-unsur paduan. (Wiryosumarto & Okumura, 2000)

Penggunaan aluminium di dalam banyak bidang terus berkembang. Hal tersebut juga menyebabkan banyak paduan aluminium yang dikembangkan. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengetahui jenis paduan pada aluminium jika akan mengelasnya. Sebuah

sistem empat digit angka telah dikembangkan oleh Aluminum Association, Inc dan diadopsi oleh ASTM untuk menunjukkan jenis paduan pada aluminium (Cary, 2005). Digit pertama (Xxxx) menunjukkan jenis paduan aluminium berkaitan dengan kemurnian aluminium atau jenis unsur paduan utama. Digit kedua (xXxx) menunjukkan modifikasi dari paduan orisinal. Digit 0 untuk paduan orisinal dan digit 1 sampai 9 untuk modifikasi. Digit ketiga dan keempat (xxXX) merupakan identitas campuran khusus paduan utama. Contoh: Pada paduan 5183, angka 5 menunjukkan jenis paduannya adalah magnesium, angka 1 merupakan modifikasi pertama dari 5083, dan angka 83 merupakan identifikasi pada seri 5xxx (Widharto, 2007).

Aluminium seri 5000 termasuk paduan yang tidak dapat dilaku-panaskan, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut, dan dalam sifat mampu-lasnya (Wiryosumarto & Okumura, 2000). Magnesium merupakan unsur paduan utama dari seri ini. Seri ini memiliki karakteristik pengelasan yang baik (Cary, 2005).

Aluminium 5083 adalah aluminium non-heat-treatable yang terdiri dari 4.5% magnesium, 0.15% chrom, dan 0.7% mangan. Al 5083 dikenal sebagai pelat yang digunakan untuk konstruksi kapal. Material Al 5083 diperkeras dengan pengerjaan dingin seperti cold rolling. Material ini memiliki weldability yang baik. GMAW dan GTAW dipilih dan banyak digunakan untuk mengelas material ini. (Atlas Steels, 2013)

2.3.1. Kelebihan Aluminium sebagai Konstruksi Kapal

Salah satu keuntungan utama dari aluminium adalah tingginya nilai perbandingan *strength-to-weight*, yaitu perbandingan antara berat material dengan sifat mekaniknya. Istilah sederhananya, semakin tinggi perbandingan *strength-to-weight* dari material lambung, maka akan semakin ringan kapal tersebut dapat dibangun dengan tetap mempertahankan tingkat kekuatannya. Lambung yang dibangun dari material dengan nilai perbandingan *strength-to-weight* yang rendah akan menjadi lebih berat. (Pollard, 1993)

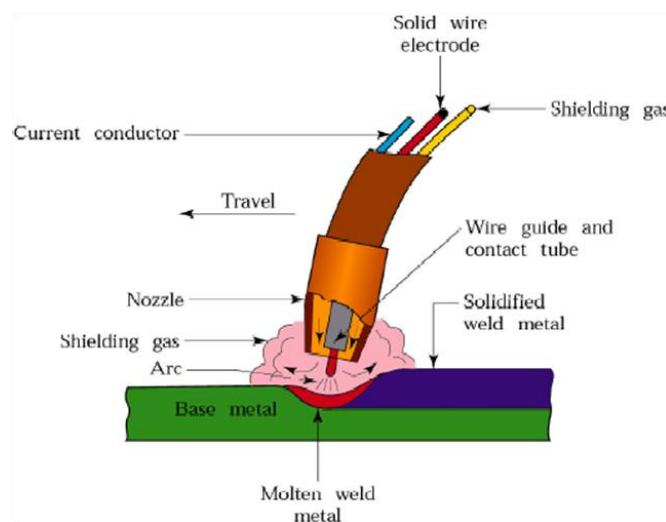
Nilai perbandingan *strength-to-weight* yang tinggi pada aluminium juga menjadikannya material yang sangat unggul untuk kapal. Metode paling sederhana untuk meningkatkan kecepatan kapal adalah dengan mengurangi berat kapal. Saat kecepatan meningkat tanpa meningkatnya kekuatan mesin, maka sudah jelas efisiensi operasional kapal akan bertambah. Hal ini menghasilkan biaya bahan bakar yang lebih rendah untuk jarak tempuh yang sama dan umur mesin yang lebih panjang pada kecepatan yang sama.

Tingginya nilai perbandingan *strength-to-weight* pada aluminium bermanfaat untuk semua jenis kapal. Pengurangan berat menghasilkan sarat yang rendah, kebutuhan tenaga yang lebih kecil untuk menggerakkan kapal, konsumsi bahan bakar yang rendah, kapasitas muatan yang lebih banyak, dan mengurangi jam penggunaan mesin yang berarti lebih jarang dilakukannya perbaikan. (Pollard, 1993)

Sebuah kapal aluminium yang dibangun dengan kekuatan yang sama dengan kapal baja akan memiliki berat 20% lebih ringan. Faktanya, jika dibandingkan dengan kapal baja, kapal aluminium lebih ringan 35-45% jika digunakan pada lambung dan 55-65% lebih ringan jika digunakan untuk konstruksi bangunan atas (Simpson & Skillingberg, 2003). Dengan kata lain, jika dibandingkan dengan kapal baja dengan desain dan kekuatan yang sama, maka sarat kapal aluminium akan lebih rendah sehingga kapal ini dapat melaju lebih cepat dengan daya mesin yang sama atau mengangkut muatan lebih banyak.

2.4. Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Proses GMAW telah menjadi salah satu proses pengelasan busur gas paling populer. Ada empat variasi utama dalam prosesnya berdasarkan cara transfer logam. Perkembangan awal GMAW adalah untuk pengelasan aluminium menggunakan gas inert untuk perlindungannya. Oleh karena itu GMAW juga biasa disebut dengan pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*). Ini dimanfaatkan untuk metode transfer jenis semprot (*spray*), dengan perlindungan gas argon dan elektroda diameter yang relatif besar. Pengelasan ini menghasilkan manik las halus dengan jumlah yang relatif kecil (Cary, 2005). Gambar 2.22 memperlihatkan yang terjadi pada proses pengelasan GMAW.



Gambar 2.22. Proses pengelasan GMAW.

Sumber: www.techblogsearch.com

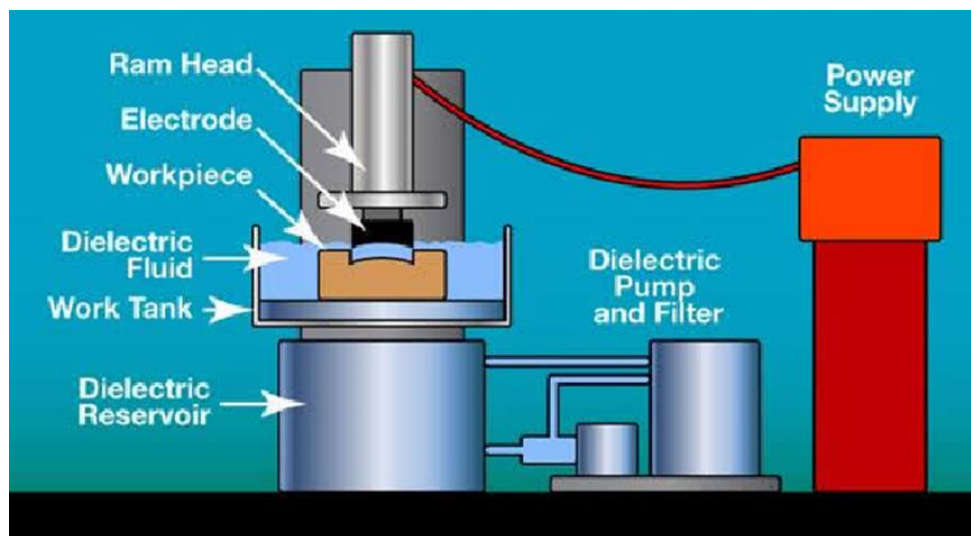
GMAW merupakan las busur gas yang menggunakan kawat las sekaligus sebagai elektroda. Elektroda tersebut berupa gulungan kawat (rol) yang gerakannya diatur oleh motor listrik. Las ini menggunakan gas argon dan helium sebagai pelindung busur dan logam yang mencair dari pengaruh atmosfer. Panas dari proses pengelasan ini dihasilkan oleh busur las yang terbentuk diantara elektroda kawat (*wire electrode*) dengan benda kerja. Selama proses pengelasan, elektroda akan meleleh dan menjadi deposit logam las dan membentuk butiran las (*weld beads*). Gas pelindung digunakan untuk mencegah terjadinya oksidasi dan melindungi hasil las selama masa pembekuan (*solidification*). (Cary, 2005)

Pengelasan dengan proses GMAW memiliki beberapa kelebihan (Cary, 2005), yaitu:

- Faktor operasional yang tinggi.
- Pemanfaatan yang tinggi dari logam pengisi (*filler metal*).
- Pembersihan slag yang minimal.
- Pengurangan timbulnya asap dan uap saat pengoperasian.
- Tingkat keterampilan yang rendah dalam aplikasi metode semi-otomatis dibandingkan dari yang dibutuhkan untuk penggunaan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).
- Memungkinkan untuk metode otomatis.
- Sangat serbaguna, dengan kemampuan aplikasi yang luas dan global.

Proses GMAW ini juga memiliki kekurangan. Untuk daerah-daerah pengelasan yang sempit akan sulit dijangkau oleh peralatan yang tersedia. Hal tersebut disebabkan proses GMAW ini menggunakan semacam alat berbentuk seperti pistol yang biasanya tidak dapat menjangkau seluruh daerah yang harus dilas (Cary, 2005). Selain itu, karena dalam prosesnya menggunakan perlindungan gas, maka dapat dikatakan bahwa lokasi pengelasan yang berada di area terbuka (*outdoor*) kurang cocok untuk proses GMAW ini. Harga instalasi awal dan peralatan yang tinggi juga menjadi pertimbangan dalam menggunakan proses GMAW.

2.5. Electric Discharge Machining (EDM)



Gambar 2.23. Ilustrasi peralatan EDM.

Sumber: www.edmtechman.com

Electrical Discharge Machining (EDM) memiliki nama lain seperti *spark machining*, *spark eroding*, *burning*, *die sinking* atau *wire erosion*. EDM adalah sebuah alat yang memungkinkan proses manufaktur untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan pada suatu material dan didapat dengan menggunakan *electrical discharges* (*sparks*). Dalam penelitian ini, alat EDM digunakan untuk membuat retak bawah permukaan (*subsurface crack*) buatan.

Dalam proses EDM, material dihilangkan oleh serangkaian loncatan listrik (bunga api) pada celah proses pengerjaannya yaitu elektroda dan benda kerja, suhu pelepasan yang terjadi lebih tinggi dari pada titik leleh benda kerja, termasuk bahan eksotis.

Cairan dielektrik merupakan variable yang sangat penting dalam proses EDM. Ada tiga fungsi utama; sebagai insulator antara alat dan benda kerja, bekerja sebagai pendingin dan sebagai media pembilas untuk menghilangkan serpihan, cairan dielektrik biasanya berbahan dasar hidrokarbon, namun cairan jenis lain seperti triethylene glycol dan tetraethylene glycol juga digunakan untuk meningkatkan kecepatan kerja.

Elektroda yang digunakan terbuat dari grafit dan tembaga, namun material lainnya dapat digunakan. EDM memiliki akurasi sampai 0.005-0.02 mm dalam hal membuat lubang dan 0.001-0.1 mm saat membuat cekungan *machining*. (Grote & Antonsson, 2009)

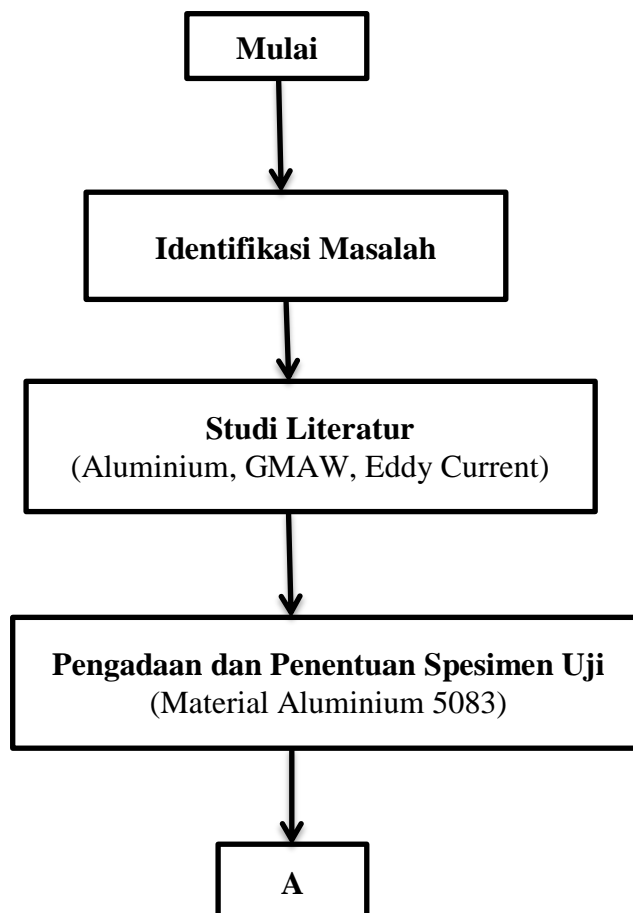
“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB III

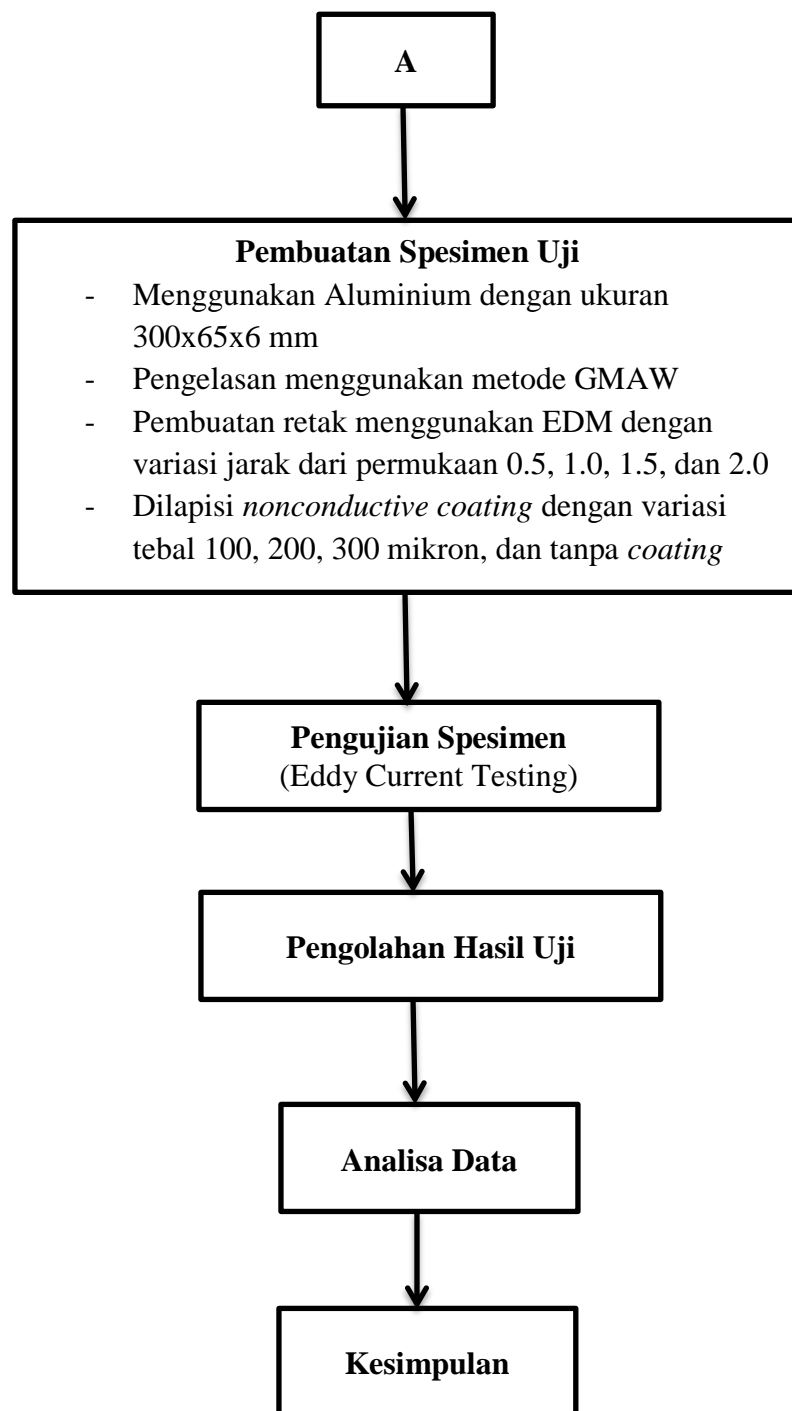
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir

Pada langkah awal pengerjaan tugas akhir ini, dilakukan persiapan-persiapan seperti studi literatur, referensi pengadaan material, referensi bengkel pengelasan, referensi untuk pengujian, dan lain-lain. Semua persiapan tersebut memegang peranan penting untuk pengerjaan tugas akhir ini. Berikut merupakan bagan dari pengerjaan penelitian ini.



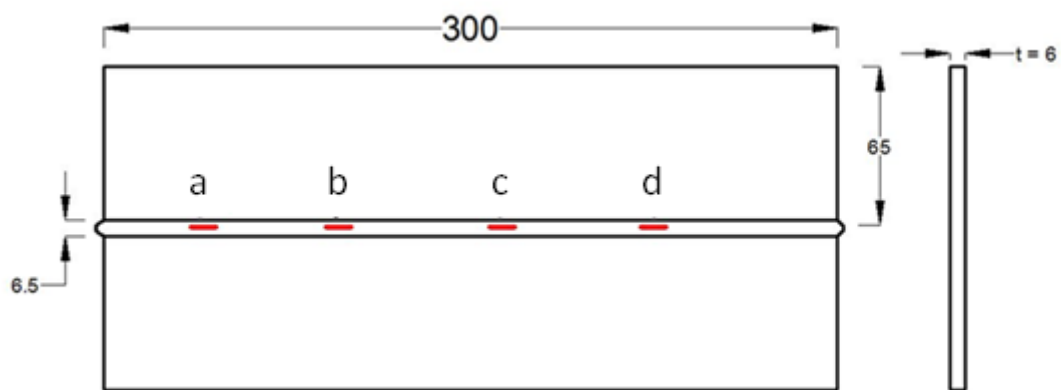
Gambar 3.1. Diagram alir pengerjaan tugas akhir.



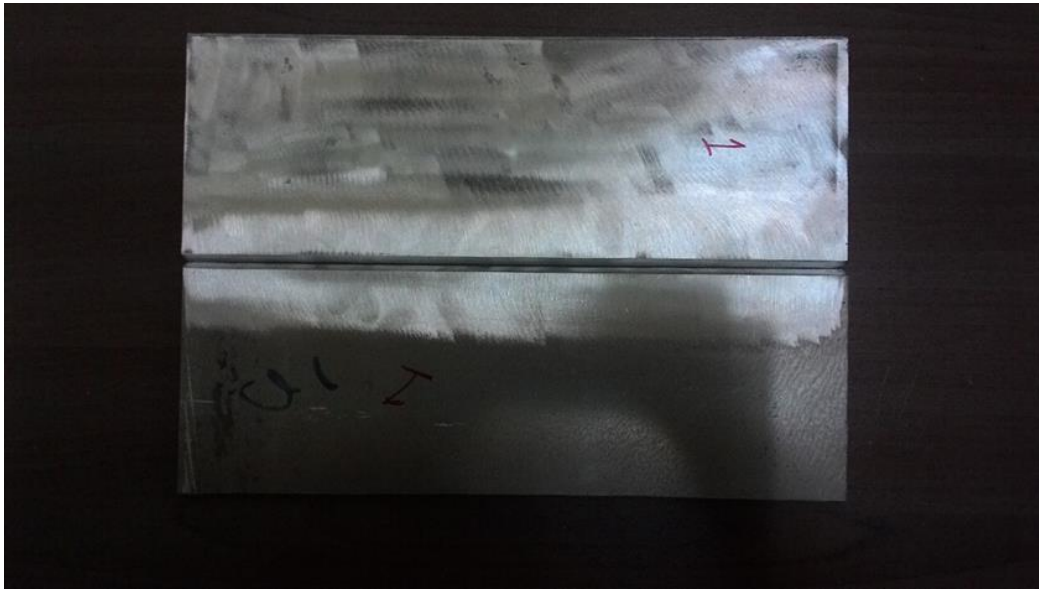
Gambar 3.2. Diagram alir pengerjaan tugas akhir (lanjutan).

3.2. Persiapan Material dan Alat

Pada tahap ini, dilakukan pengadaan material yang akan digunakan untuk tugas akhir. Material yang dipersiapkan adalah pelat Aluminium 5083 sebanyak delapan lembar dengan masing-masing ukuran panjang 300 mm x lebar 65 mm x tebal 6 mm. Saat pembelian, material tersebut masih berupa lembaran yang harus dipotong sesuai dengan ukuran yang direncanakan. Pemotongan dilakukan menggunakan batu gerinda jenis *cutting wheel*. Kedelapan pelat yang sudah dipotong sesuai ukuran tersebut nantinya akan dilas menggunakan metode GMAW dengan elektroda ER 5356. Sebelum dilakukan pengelasan akan dibentuk bevel pada material sehingga diperlukan *flap disc* A120 untuk menghaluskan dan membersihkan material. *Flap disc* merupakan kertas gosok yang disusun sedemikian rupa membentuk lingkaran sehingga dapat digunakan sebagai mata mesin gerinda. Setelah pengelasan, material dihaluskan kembali menggunakan *flap disc* tersebut. Selanjutnya, akan diberikan retak buatan pada setiap spesimen uji dengan ukuran kedalaman yang bervariasi seperti pada Gambar 3.14. Kemudian dilakukan pelapisan *nonconductive coating* menggunakan cat semprot *oxygen* dengan variasi ketebalan yang berbeda-beda tiap spesimen.



Gambar 3.3. Dimensi spesimen uji.



Gambar 3.4. Spesimen uji sebelum pengelasan.

Peralatan lain yang digunakan untuk pembuatan spesimen antara lain:

- Mesin Las Franius
- Mesin Frais
- Palu *Chipping*
- Sikat baja
- Ragum
- Sarung tangan las
- Mesin gerinda merk Makita
- Kacamata las
- Spidol
- Penggaris
- Jangka sorong

Peralatan pengujian merupakan hal yang utama untuk disiapkan sebaik mungkin pada penelitian ini. Adapun peralatan yang digunakan untuk pengujian *Eddy Current* sebagai berikut:

1. Blok kalibrasi



Gambar 3.5. Blok kalibrasi.

2. Eddy Current Testing Equipment

○ Probe

- Probe Manufacture/Brand : Ether NDE
- Probe Type : Right Angle Probe
- Probe Coil : Normal Single/Absolute
- Probe Serial No. : 500174/06
- Probe Frequency : 30 kHz



Gambar 3.6. Probe pengujian yang digunakan.

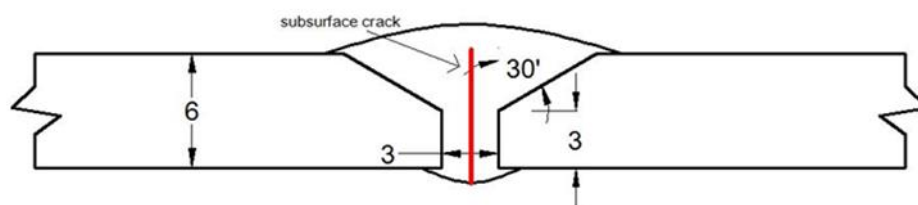
- Eddy Current Testing Machine
 - Manufacture/Brand : OLYMPUS
 - Type : Nortec 600
 - Serial Number : 60003161142



Gambar 3.7. Eddy current testing machine.

3.3. Proses Pengelasan

1. Pembuatan bevel dengan sudut 30° pada bagian sambungan yang akan dilas menggunakan mesin frais.



Gambar 3.8. Sudut bevel yang direncanakan.



Gambar 3.9. Proses pembuatan bevel.

2. Pembuatan tanggem atau *stopper*. Tanggem atau *stopper* digunakan sebagai dudukan material agar pada saat pengelasan tidak terjadi deformasi yang berlebihan. Ukuran dan jumlahnya disesuaikan dengan ukuran material.



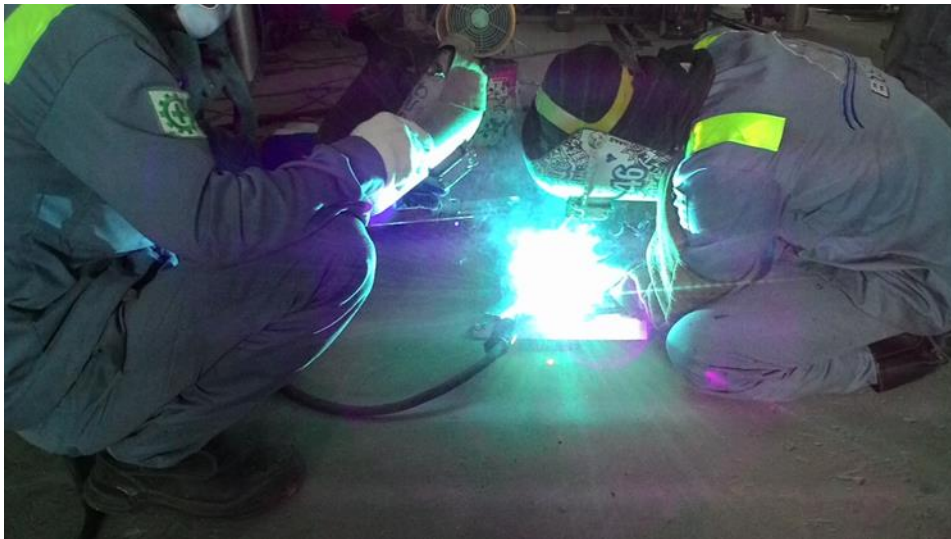
Gambar 3.10. Proses pembuatan tanggem/stopper.

3. Sebelum pengelasan, material dipersiapkan dengan mengelas tanggem sebagai dudukannya.



Gambar 3.11. Persiapan pengelasan.

4. Material kemudian dilas pada alur bevel menggunakan metode GMAW.



Gambar 3.12. Proses pengelasan

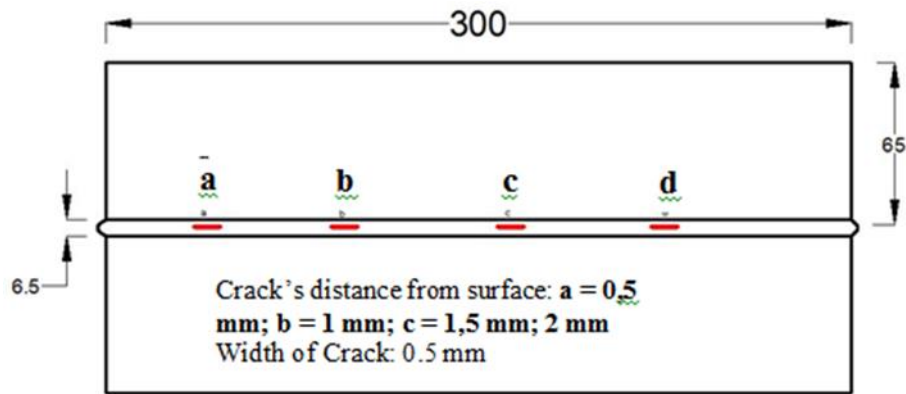


Gambar 3.13. Hasil pengelasan.

Akan tetapi, sampai pada tahapan ini material yang dihasilkan masih belum sempurna untuk dijadikan spesimen uji yang sebenarnya, disebabkan masih banyak daerah yang kasar maupun tajam sehingga, dibutuhkan tahapan selanjutnya untuk menghilangkan hal-hal tersebut. Gerinda dengan *flap disc* digunakan untuk menghilangkan bagian-bagian kasar pada permukaan material serta menghaluskan bagian-bagian tajam yang ada di setiap ujung sisi spesimen uji. Mesin gerinda yang digunakan adalah merk Makita dengan *flap disc* yang memiliki tingkat kekasaran A120.

3.4. Pembuatan Retak Buatan

Spesimen uji yang sudah selesai di las dan telah dilakukan proses pembersihan serta penghalusan dari sisi tajam selanjutnya dilakukan proses pembuatan retak pada *weld metal* dengan alat yang disebut dengan EDM (*Electrical Discharge Machining*). EDM adalah sebuah proses manufaktur dimana bentuk yang diinginkan didapat dengan menggunakan electrical discharge (sparks). Posisi dan ukuran retak buatan dapat diatur sedemikian rupa seperti yang direncanakan seperti terlihat pada Gambar 3.14. Ukuran tersebut meliputi panjang, lebar, dan kedalaman retak. Tiap spesimen akan diberikan empat variasi kedalaman yang diukur dari permukaan las-lasan. Untuk membuat retak tersebut, diperlukan elektroda tembaga tipis guna merusak material.



Gambar 3.14. Letak dan dimensi retak buatan.



Gambar 3.15. Tampilan tool EDM.

Alat EDM akan otomatis bekerja sesuai perintah dari *controller* dan data yang di input pada layar monitor yang ditunjukkan pada Gambar 3.16. Beberapa indikator yang dapat diatur adalah posisi *tool* EDM terhadap material yang akan dirusak, kedalaman retak, level waktu pengerjaan, dan seberapa kuat *tool* merusak bagian material. Mesin akan otomatis berhenti bekerja ketika indikator berupa kedalaman retak telah tercapai. Selesaiannya pengerjaan juga ditandai oleh bunyi selama beberapa detik. Jika akan dibuat retak pada posisi lainnya, cukup dengan menggerakkan *tool* EDM melalui *controller* dari satu posisi ke posisi berikutnya.



Gambar 3.16. Tampilan layar monitor EDM.

Hasil pembuatan retak dengan alat EDM pada empat posisi berbeda sepanjang alur las material aluminium dengan panjang retak 10 mm dan variasi jarak retak dari permukaan sebesar 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, dan 2.0 mm. Perbedaan atau variasi jarak retak dari permukaan tidak dapat diketahui melalui pengamatan visual karena posisi retak di dalam alur las dan di bawah permukaan. Hasil pembuatan retak buatan terlebih dahulu dilakukan pengecekan ukuran untuk memastikan hasil telah sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 3.17. Hasil retak buatan dengan panjang 10.0 mm.

3.5. Pelapisan Cat

Pengerjaan pelapisan cat dilakukan setelah pembuatan retak buatan dengan alat EDM selesai dilakukan. Namun sebelum dilapisi cat, material terlebih dahulu dihaluskan sampai permukaan material tampak mengkilap dan bersih dari kotoran atau noda. Hal ini bertujuan agar proses dan hasil pelapisan cat sempurna. Karena material aluminium cukup lunak, maka untuk menghaluskan dan membersihkannya menggunakan kertas gosok dan digosok secara manual tanpa bantuan mesin.

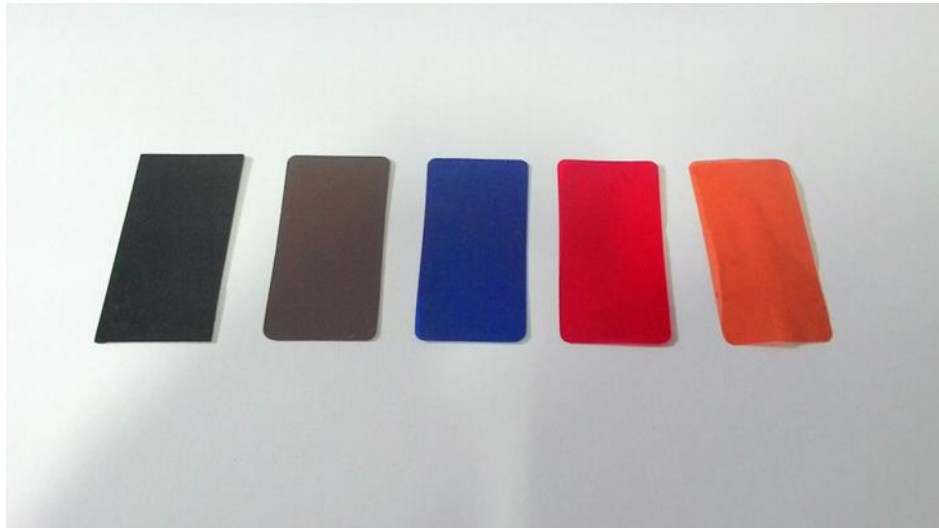
Material aluminium yang telah dihaluskan kemudian disiapkan untuk dilapisi cat. Dalam tugas akhir ini, digunakan cat semprot merek OXYGEN warna merah. Sebelum dilapisi cat, material harus bersih dari debu atau kotoran. Cat diaplikasikan pada tiga spesimen aluminium dengan ketebalan cat 100 mikron, 200 mikron, dan 300 mikron, sedangkan satu spesimen dibiarkan tanpa lapisan cat.



Gambar 3.18. Proses pelapisan cat.

Setelah material dilapisi cat, perlu dilakukan pengukuran ketebalan cat yang menempel pada permukaan material tersebut dengan alat *thickness gauge* merek PosiTector 6000. *Thickness gauge* dapat digunakan dalam aplikasi pengukuran ketebalan berbagai jenis material dengan lapisan cat di permukaannya. Alat ini memiliki sistem kalibrasi secara

otomatis, sehingga sangat mudah untuk digunakan. Akan tetapi dapat juga dilakukan dengan cara manual yaitu dengan melakukan pengecekan pembacaan pada ketebalan *shims* (film) standard yang ada. Terdapat lima macam warna *shims* yang mewakili ketebalan berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19. Variasi warna film (shims) untuk kalibrasi.



Gambar 3.20. Pemeriksaan ketebalan cat.

Pengecekan dilakukan pada empat daerah berbeda di material spesimen guna mengambil rata-rata dari ketebalan cat tersebut. Ujung probe dari PosiTector 6000 ditempelkan pada permukaan material yang dilapisi cat dan akan langsung muncul angka pada layar alat yang menunjukkan ketebalan dari cat. Posisi ujung probe harus tegak lurus terhadap permukaan material agar pembacaan ketebalan cat sempurna. Gambar 3.21 sampai dengan Gambar 3.23 menunjukkan hasil pembacaan ketebalan cat.



Gambar 3.21. Hasil pembacaan ketebalan cat 100 mikron.



Gambar 3.22. Hasil pembacaan ketebalan cat 200 mikron.

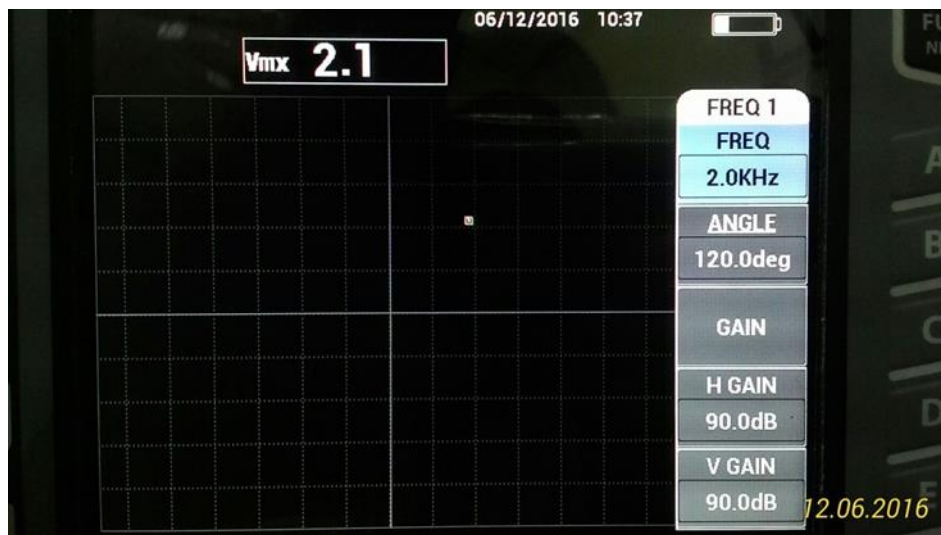


Gambar 3.23. Hasil pembacaan ketebalan cat 300 mikron.

3.6. Pengujian Eddy Current

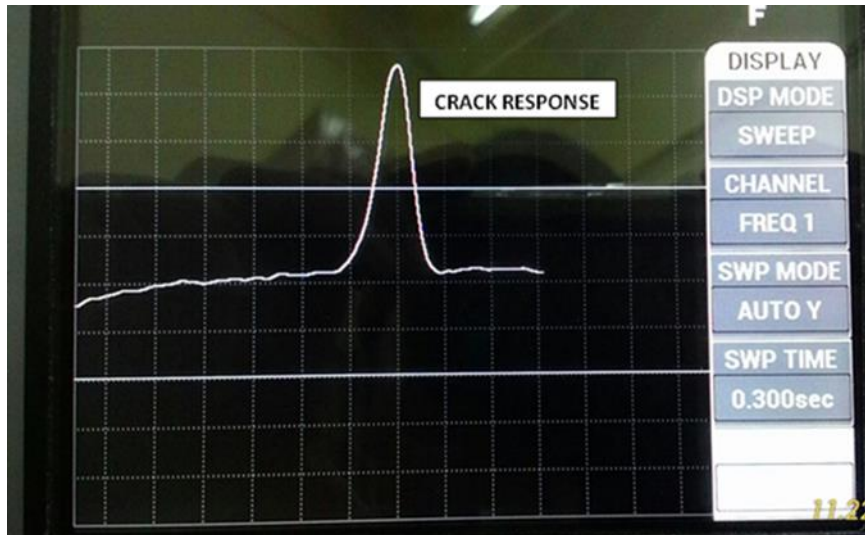
Pengujian eddy current dilakukan setelah spesimen aluminium selesai dilapisi oleh cat. Terdapat tiga spesimen dengan variasi ketebalan cat serta satu spesimen tanpa lapisan cat. Dengan melakukan pengujian *eddy current* akan diketahui seberapa besar pengaruh lapisan cat terhadap pembacaan retak di bawah permukaan pada material. Apabila tahapan-tahapan sebelum pengujian, serta semua peralatan pengujian telah disiapkan, pengujian *eddy current* dapat dilakukan. Berikut adalah uraian tahapan *Eddy Current Testing*:

1. Material uji dan blok kalibrasi disiapkan di meja kerja. Meja kerja yang digunakan sebaiknya terbuat dari bahan yang tidak dapat menghantarkan listrik maupun magnet (non-konduktif) karena dapat memengaruhi arus eddy pada pengujian.
2. Melakukan kalibrasi alat menggunakan blok kalibrasi yang telah ada. Hal yang harus diperhatikan untuk tahapan ini adalah pengaturan frekuensi, *gain*, dan sudut fase pada alat seperti pada Gambar 3.24. Pengaturan dilakukan sampai perbedaan fase antara sinyal *lift-off* dan indikasi retak sebesar $\pm 90^\circ$.
3. Kalibrasi dilakukan setiap akan memulai pengujian sesuai dengan kondisi spesimen uji. Apabila akan menguji spesimen dengan ketebalan lapisan cat 100 mikron, maka kondisi blok kalibrasi juga harus diberikan lapisan dengan ketebalan yang sama. Lapisan pada blok kalibrasi dapat menggunakan plastik, kertas, atau bahan lainnya dengan sifat yang sama seperti cat pada spesimen uji yaitu non-konduktif.



Gambar 3.24. Pengaturan saat kalibrasi.

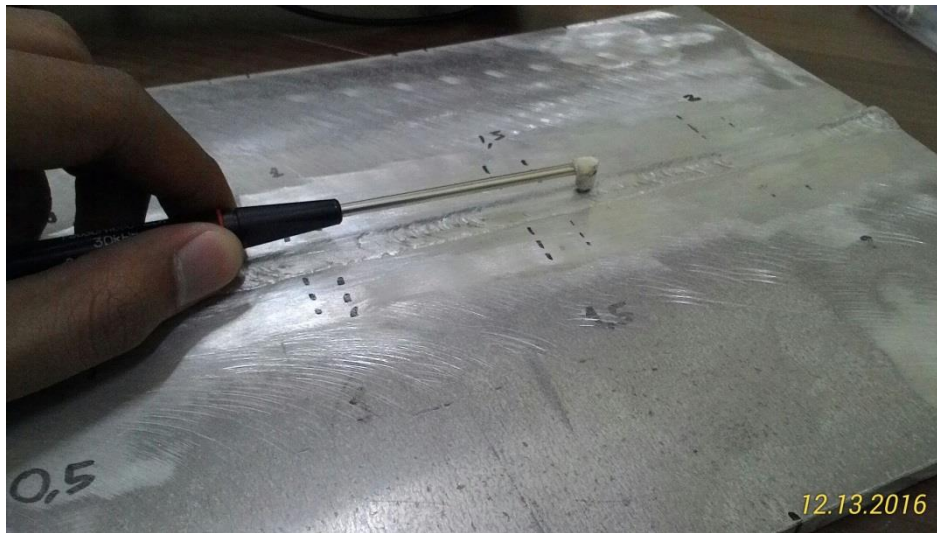
4. Kemudian dilakukan pengujian terhadap spesimen uji. Pengujian dilakukan hanya pada daerah *weld metal*. Tampilan sinyal pengujian pada monitor dipilih tipe *time-based* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.25.



Gambar 3.25. Tampilan sweep (time-based).

5. Sebelum melakukan *scanning*, harus dilakukan *balancing/nulling* yaitu proses penyamaan impedansi antara *probe* dan impedansi internal dari alat *Eddy Current Testing* dengan posisi probe menempel pada spesimen uji seperti pada Gambar 3.26.

6. Selanjutnya, bersamaan dengan dijalankan probe pada permukaan spesimen uji, dilihat sinyal yang dihasilkan pada monitor. Jika terdapat indikasi maka diberikan tanda pada material.
7. Setelah semua indikasi diskontinuitas ditemukan serta didokumentasikan, maka pengujian dengan metode *Eddy Current Testing* telah selesai.
8. Langkah selanjutnya adalah menganalisis data yang didapatkan dari hasil *Eddy Current Testing*.



Gambar 3.26. Proses *scanning* saat pengujian.

Pengaturan konfigurasi utama alat *Eddy Current Testing* saat pengujian adalah sebagai berikut:

- Frekuensi : 2.0 kHz
- Phase : 130.0°
- Gain : 90.0/90.0
- Probe : Absolute
- Input Gain : Low
- Display : Sweep (Time-based)

Konfigurasi ini merupakan nilai tetap yang tidak boleh diganti selama pengujian dilakukan. Semua spesimen diuji menggunakan pengaturan konfigurasi yang sama. Apabila dilakukan perubahan pada salah satu komponen pengaturan saat pengujian, maka dapat memengaruhi hasil uji yang hasilnya dapat berbeda dengan pengujian sebelumnya.

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB IV

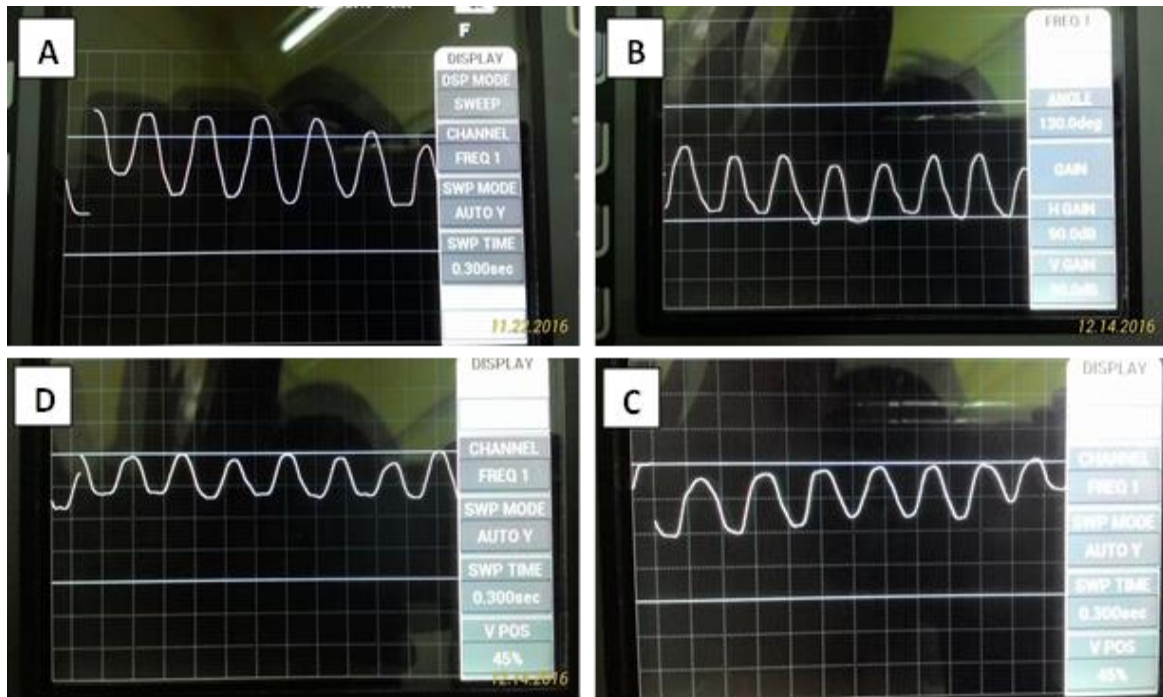
ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan disajikan analisis data dan pembahasan dari pengujian ECT (*Eddy Current Testing*) untuk mendeteksi *subsurface crack* yang telah dilakukan sebelumnya. Seluruh rangkaian pengujian dilakukan dengan mengacu pada metodologi penelitian yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Kondisi yang terjadi pada saat pengujian adalah sebagai berikut:

1. Panjang retak buatan adalah sama pada setiap spesimen uji yaitu 10 mm.
2. Kedalaman retak buatan dari permukaan pada tiap spesimen yaitu:
 - 0.5 mm
 - 1.0 mm
 - 1.5 mm
 - 2.0 mm
3. Terdapat empat (4) buah retak buatan pada tiap spesimen.
4. Spesimen dilapisi cat dengan ketebalan sebagai berikut:
 - Tanpa lapisan cat (Spesimen #1)
 - 100 mikron (Spesimen #2)
 - 200 mikron (Spesimen #3)
 - 300 mikron (Spesimen #4)
5. *Probe* yang digunakan adalah *right angle surface probe*.
6. Permukaan *weld metal* tidak diratakan.

4.1. Hasil Pengujian pada Spesimen #1

Pada sub-bab ini akan ditampilkan hasil pengujian meliputi hasil dokumentasi dan pengukuran ketinggian sinyal serta rata-ratanya. Data ketinggian sinyal yang disajikan berdasarkan perubahan jarak retak bawah permukaan (*subsurface crack*) terhadap permukaan benda yang diuji untuk masing-masing spesimen sehingga akan terlihat pengaruh variasi jarak retak bawah permukaan yang ada pada setiap spesimen terhadap perubahan ketinggian sinyal yang didapat.



Gambar 4.1. Hasil dokumentasi ketinggian sinyal retak untuk jarak retak (A) 0.5 mm (B) 1.0 mm (C) 1.5 mm (D) 2.0 mm.

Hasil pengujian untuk spesimen #1 (tanpa lapisan cat) ditunjukkan pada Gambar 4.1. Gambar-gambar tersebut menunjukkan adanya perubahan ketinggian indikasi sinyal retak yang terjadi akibat perbedaan jarak retak bawah permukaan (*subsurface crack*) terhadap permukaan benda yang diuji. Rata-rata ketinggian indikasi sinyal saat jarak retak dari permukaan 0.5 mm paling besar dan terus mengecil untuk jarak retak dari permukaan 1.0 mm, 1.5 mm, dan 2.0 mm.

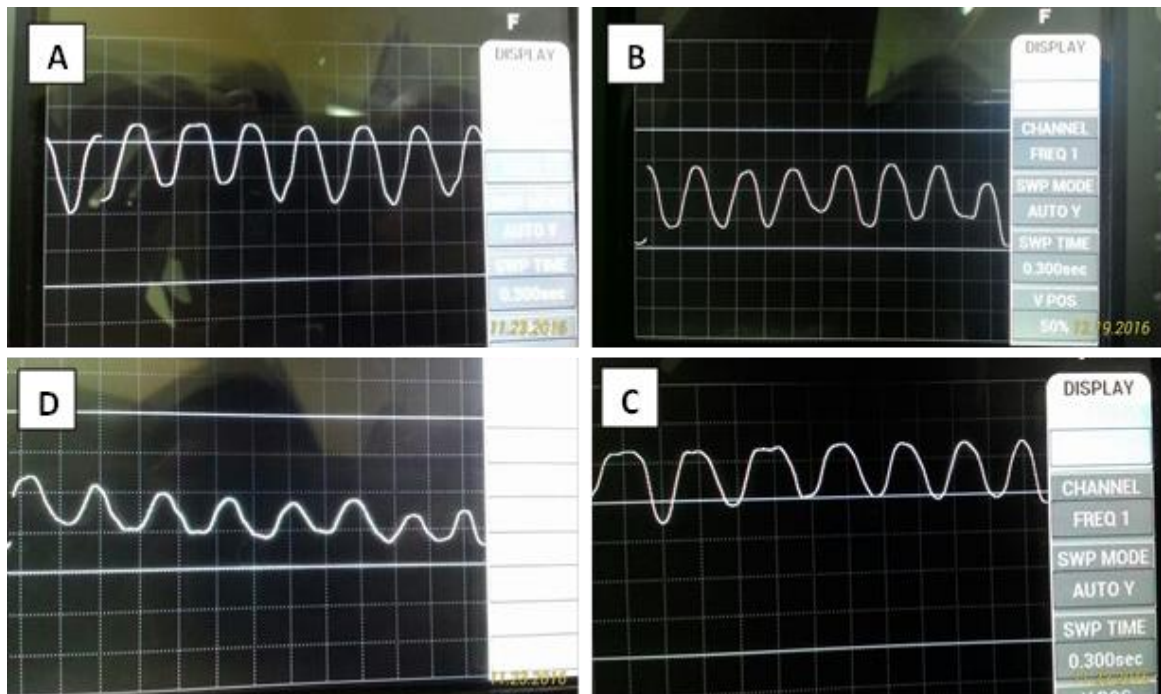
Tabel 4.1. Hasil pengukuran ketinggian sinyal spesimen #1.

Jarak retak dari permukaan	Ketinggian Sinyal (mm)					Rata-rata (mm)
0.5 mm	16	17.5	17.5	18	15.5	16.90
1.0 mm	14	13	15	14	15	14.20
1.5 mm	11	11	10	10	10	10.40
2.0 mm	8	9	8	8.5	9	8.50

Tabel 4.1 di atas menunjukkan hasil pengukuran rata-rata ketinggian sinyal indikasi retak di bawah permukaan pada spesimen #1. Hasil yang didapat, terjadi perubahan rata-

rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak yang semakin mengecil seiring dengan semakin bertambahnya jarak retak dari permukaan pada spesimen tersebut. Rata-rata ketinggian sinyal terbesar pada jarak retak 0.5 mm dan yang terkecil pada jarak 2.0 mm.

4.2. Hasil Pengujian pada Spesimen #2



Gambar 4.2. Hasil dokumentasi ketinggian sinyal retak untuk jarak retak (A) 0.5 mm (B) 1.0 mm (C) 1.5 mm (D) 2.0 mm.

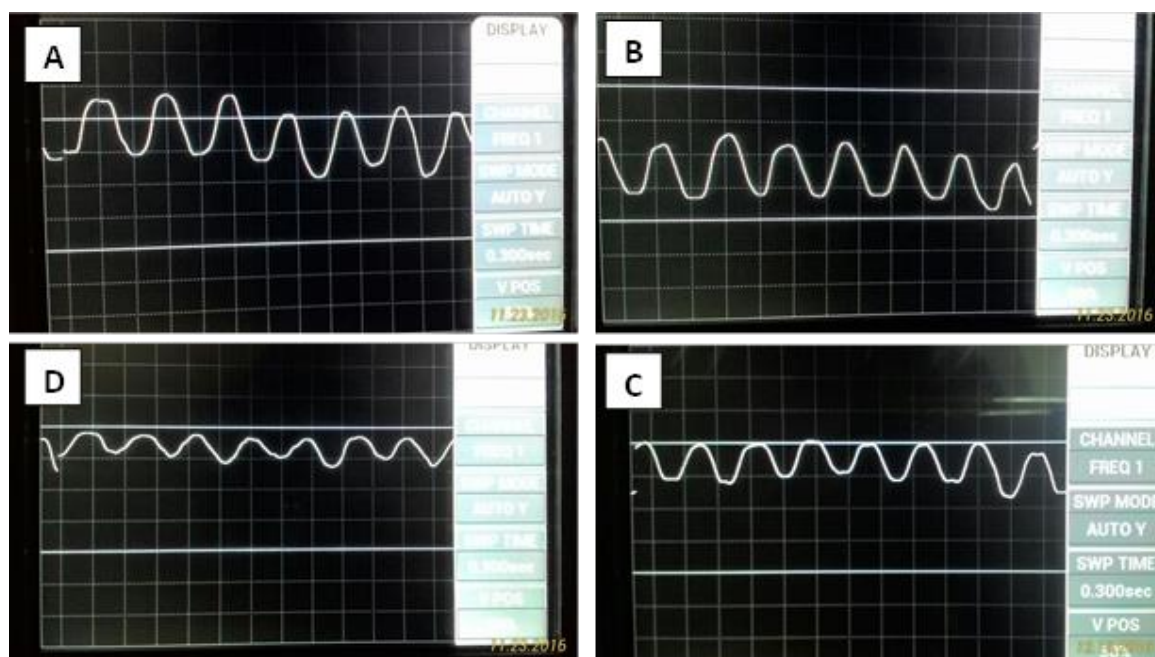
Gambar 4.2 menunjukkan hasil pengujian yang didapat untuk spesimen #2 (ketebalan cat 100 mikron). Adanya perubahan ketinggian indikasi sinyal retak yang terjadi akibat perbedaan jarak retak bawah permukaan (*subsurface crack*) terhadap permukaan benda yang diuji ditunjukkan oleh gambar tersebut. Terlihat pada Gambar 4.2, rata-rata ketinggian sinyal paling besar terjadi saat jarak retak dari permukaan 0.5 mm kemudian terus mengecil untuk jarak retak dari permukaan 1.0 mm, 1.5 mm, dan 2.0 mm.

Tabel 4.2. Hasil pengukuran ketinggian sinyal spesimen #2.

Jarak retak dari permukaan	Ketinggian Sinyal (mm)					Rata-rata (mm)
0.5 mm	14	14	15	15.5	15.5	14.80
1.0 mm	14	13	12	12	14	12.80
1.5 mm	10	9.5	9.5	9.5	10	9.70
2.0 mm	7	6	6.5	7.5	6.5	6.70

Hasil pengukuran rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak di bawah permukaan pada spesimen #2 ditunjukkan pada Tabel 4.2 di atas. Terlihat hasil pengukuran yang didapat, terjadi perubahan rata-rata ketinggian sinyal indikasi retak pada jarak retak bawah permukaan 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, dan 2.0 mm. Pada semua jarak retak, rata-rata ketinggian sinyal lebih kecil apabila dibandingkan dengan spesimen #1 karena sudah terdapat lapisan cat sebesar 100 mikron.

4.3. Hasil Pengujian pada Spesimen #3



Gambar 4.3. Hasil dokumentasi ketinggian sinyal retak untuk jarak retak (A) 0.5 mm (B) 1.0 mm (C) 1.5 mm (D) 2.0 mm.

Hasil pengujian untuk spesimen #3 (ketebalan cat 200 mikron) ditunjukkan pada Gambar 4.3. Gambar-gambar tersebut menunjukkan adanya perubahan ketinggian indikasi sinyal retak yang terjadi akibat perbedaan jarak retak bawah permukaan (*subsurface crack*) terhadap permukaan benda yang diuji. Seperti yang terlihat pada gambar tersebut, respon sinyal yang didapat sama seperti spesimen-spesimen sebelumnya yaitu terjadi perubahan rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak yang semakin mengecil seiring dengan semakin bertambahnya jarak retak dari permukaan pada spesimen tersebut.

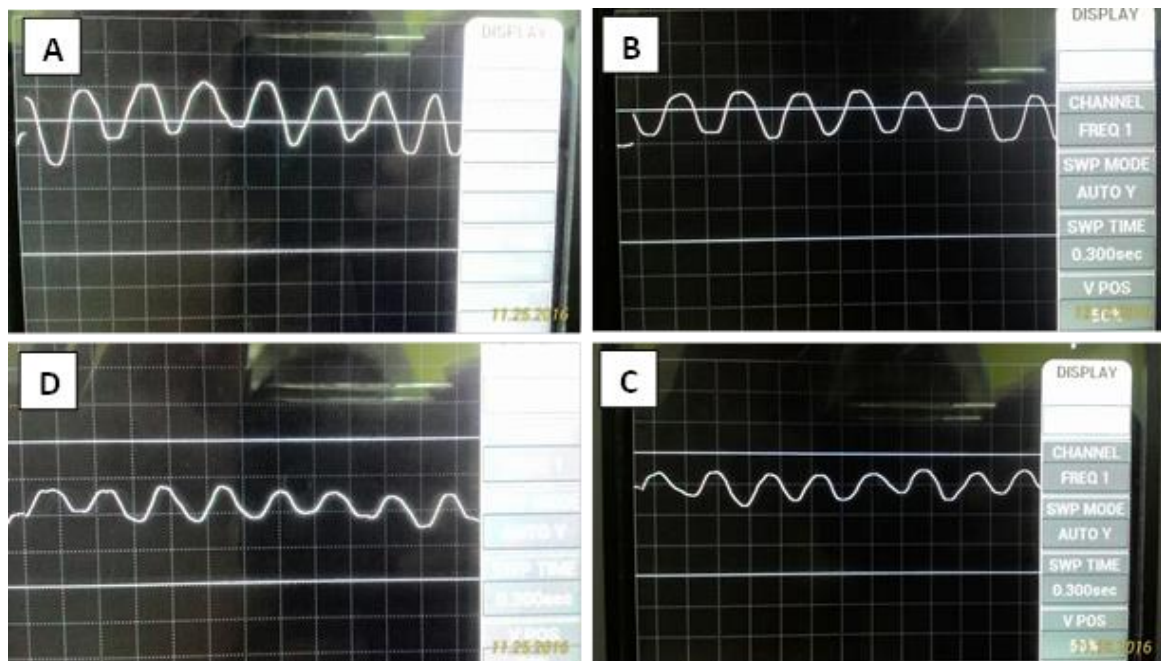
Tabel 4.3. Hasil pengukuran ketinggian sinyal spesimen #3.

Jarak retak dari permukaan	Ketinggian Sinyal (mm)					Rata-rata (mm)
0.5 mm	13.5	13.5	12	13	14	13.20
1.0 mm	11	13	11	12	11	11.60
1.5 mm	7.5	7	7	8	7	7.30
2.0 mm	5	4.5	5	5.5	5	5.0

Tabel 4.3 di atas menunjukkan hasil pengukuran rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak di bawah permukaan pada spesimen #3. Hasil yang didapat, perubahan rata-rata ketinggian sinyal adanya retak yang semakin mengecil kembali ditunjukkan saat jarak retak semakin bertambah dari 0.5 mm sampai 2.0 mm. Rata-rata ketinggian sinyal terbesar pada jarak retak 0.5 mm dan juga terus mengecil pada jarak retak 2.0 mm.

4.4. Hasil Pengujian pada Spesimen #4

Spesimen #4 merupakan spesimen dengan ketebalan lapisan cat paling besar yaitu 300 mikron. Data ketinggian sinyal yang disajikan berdasarkan perubahan jarak retak bawah permukaan (*subsurface crack*) terhadap permukaan benda yang diuji untuk masing-masing spesimen sehingga akan terlihat pengaruh variasi jarak retak bawah permukaan yang ada pada setiap spesimen terhadap perubahan ketinggian sinyal yang didapat.



Gambar 4.4. Hasil dokumentasi ketinggian sinyal retak untuk jarak retak (A) 0.5 mm (B) 1.0 mm (C) 1.5 mm (D) 2.0 mm.

Gambar 4.4 menunjukkan hasil pengujian yang didapat untuk spesimen #4 (ketebalan cat 300 mikron). Adanya perubahan ketinggian indikasi sinyal retak yang terjadi akibat perbedaan jarak retak bawah permukaan (*subsurface crack*) terhadap permukaan benda yang diuji ditunjukkan oleh gambar tersebut. Walaupun sinyal retak yang dihasilkan semakin kecil dibandingkan sinyal retak yang dihasilkan pada spesimen #2 (ketebalan cat 100 mikron) dan spesimen #3 (ketebalan cat 200 mikron), sinyal indikasi adanya retak yang ada pada spesimen #4 masih dapat terbaca oleh alat *eddy current testing* dan dapat dilakukan pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil pengukuran ketinggian sinyal spesimen #4.

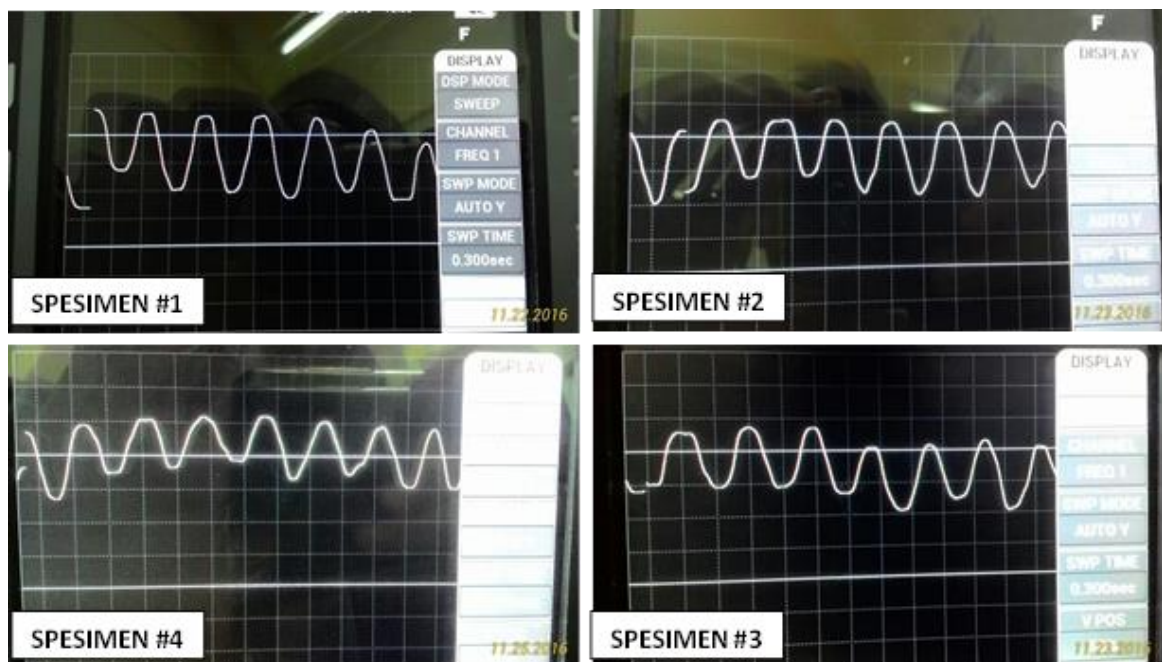
Jarak retak dari permukaan	Ketinggian Sinyal (mm)					Rata-rata (mm)
	11	10.5	11	12	12	
0.5 mm	11	10.5	11	12	12	11.30
1.0 mm	9	8	8.5	9	8	8.50
1.5 mm	7	6	5.5	5.5	5.5	5.90
2.0 mm	4.5	5	4.5	4.5	4.5	4.60

Hasil pengukuran rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak di bawah permukaan pada spesimen #4 ditunjukkan pada Tabel 4.4 di atas. Terlihat hasil pengukuran yang didapat, terjadi penurunan rata-rata ketinggian sinyal indikasi retak pada jarak retak bawah permukaan 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, dan 2.0 mm. Pada semua jarak retak, rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak menjadi yang paling terkecil apabila dibandingkan dengan tiga spesimen sebelumnya.

4.5. Perbandingan Ketinggian Sinyal Retak Berdasarkan Variasi Ketebalan Cat

Hasil pengujian sebelumnya disajikan berdasarkan perubahan jarak retak bawah permukaan (*subsurface crack*) terhadap permukaan benda yang diuji untuk masing-masing spesimen. Pada sub-bab di bawah ini hasil pengujian akan disajikan berdasarkan perubahan ketebalan lapisan cat pada keempat spesimen untuk jarak retak bawah permukaan yang sama.

4.5.1. Ketinggian Sinyal pada Jarak Retak 0.5 mm



Gambar 4.5. Perbandingan sinyal retak 0.5 mm dari permukaan pada keempat spesimen.

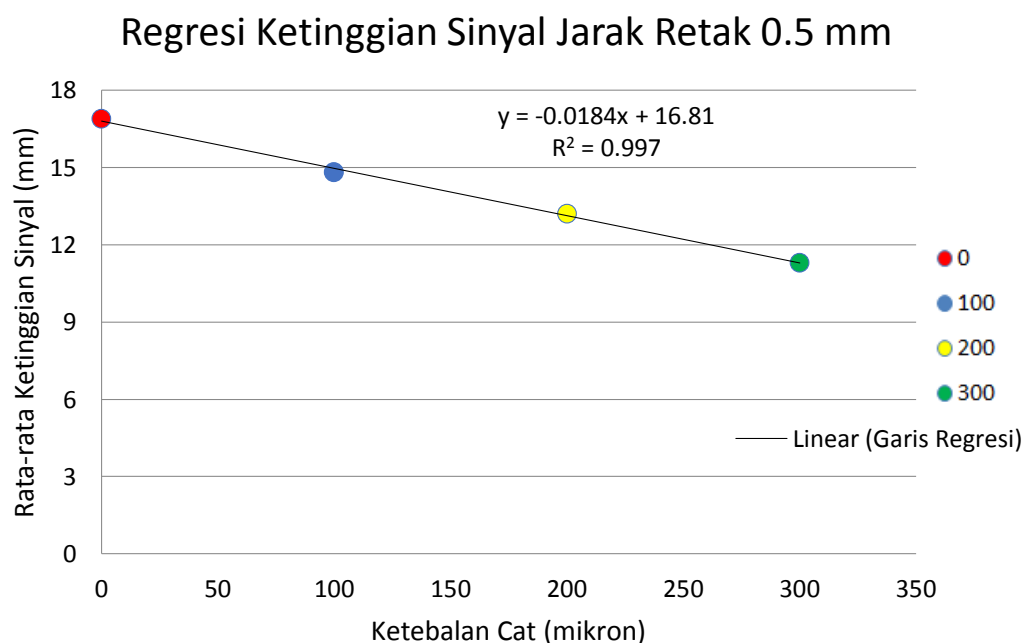
Perbandingan rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak bawah permukaan dengan jarak 0.5 mm dari permukaan berdasarkan variasi ketebalan cat pada keempat spesimen uji ditunjukkan pada Gambar 4.5. Gambar-gambar tersebut menunjukkan adanya

perubahan ketinggian indikasi sinyal retak yang terjadi akibat perbedaan lapisan cat yang ada di permukaan benda uji. Rata-rata ketinggian indikasi sinyal saat kondisi permukaan spesimen tanpa lapisan cat menjadi yang paling besar kemudian mengecil pada spesimen berikutnya dengan lapisan cat yang bertambah tebal.

Tabel 4.5. Tinggi indikasi sinyal pada retak 0.5 mm dari permukaan.

Rata-rata Ketinggian Indikasi Sinyal Retak (mm)			
Spesimen #1	Spesimen #2	Spesimen #3	Spesimen #4
16.90	14.80	13.20	11.30

Tabel 4.5. menunjukkan rata-rata ketinggian sinyal yang didapatkan dari spesimen #1 sampai dengan spesimen #4. Spesimen #1 menunjukkan rata-rata ketinggian sinyal yang paling besar yaitu 16.90 mm kemudian mengecil untuk spesimen #2 sebesar 14.80 mm, spesimen #3 sebesar 13.20 mm, dan spesimen #4 sebesar 11.30 mm.

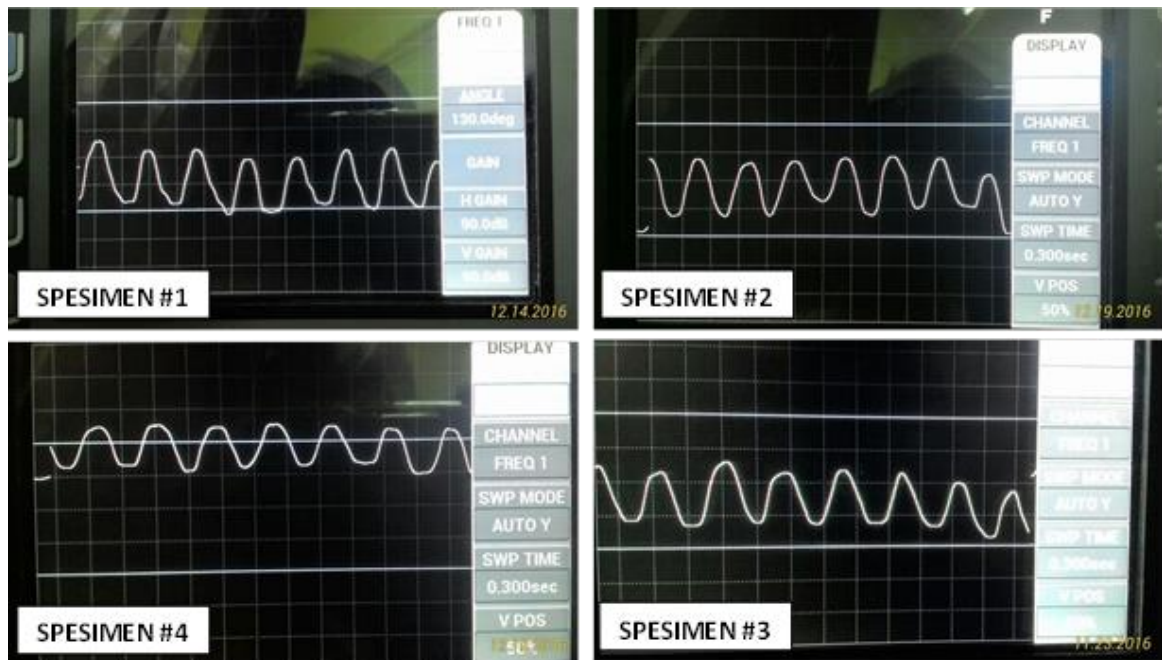


Gambar 4.6. Grafik regresi rata-rata ketinggian sinyal pada jarak retak 0.5 mm.

Gambar 4.6 menunjukkan grafik hasil regresi rata-rata ketinggian sinyal pada jarak retak 0.5 mm untuk keempat spesimen yang didapatkan dari data pengukuran Tabel 4.5

dan perhitungan regresi linear yang menghasilkan nilai intersep (A) = 16.81 dan slope (B) = -0.0184. Pada grafik regresi tersebut juga didapatkan nilai R^2 yaitu sebesar 0.997.

4.5.2. Ketinggian Sinyal pada Jarak Retak 1.0 mm



Gambar 4.7. Perbandingan sinyal retak 1.0 mm dari permukaan pada keempat spesimen.

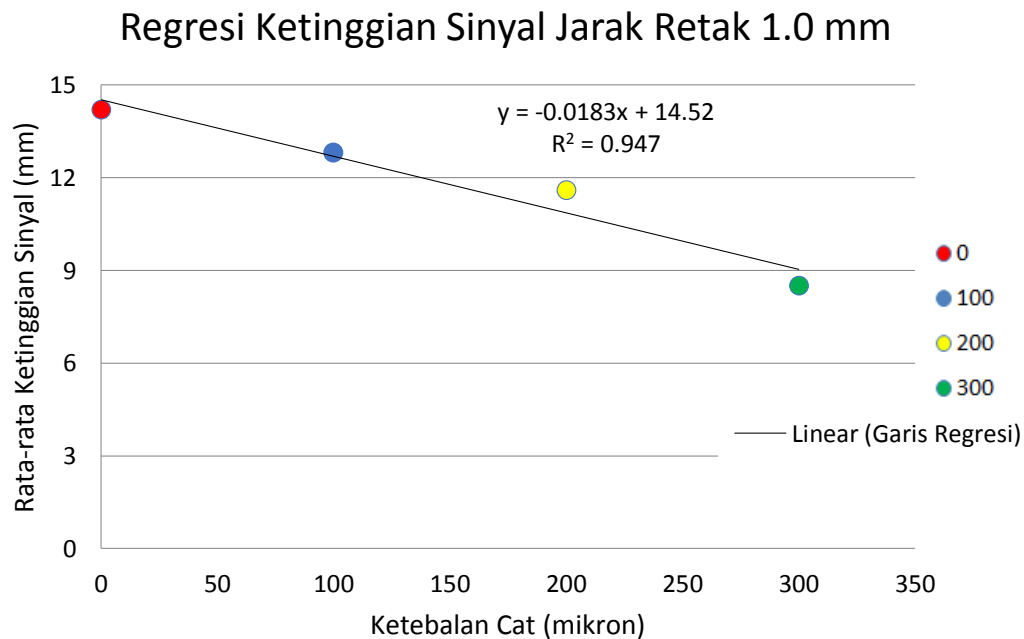
Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak bawah permukaan dengan jarak 1.0 mm dari permukaan berdasarkan variasi ketebalan cat pada keempat spesimen uji. Gambar-gambar tersebut menunjukkan adanya perubahan ketinggian indikasi sinyal retak yang terjadi akibat perbedaan lapisan cat yang ada di permukaan benda uji. Spesimen #1 menunjukkan rata-rata ketinggian sinyal paling besar dibandingkan dengan spesimen lainnya dengan lapisan cat yang bertambah tebal.

Tabel 4.6. Tinggi indikasi sinyal pada retak 1.0 mm dari permukaan.

Rata-rata Ketinggian Indikasi Sinyal Retak (mm)			
Spesimen #1	Spesimen #2	Spesimen #3	Spesimen #4
14.20	12.80	11.60	8.50

Tabel 4.6 menunjukkan pengukuran rata-rata ketinggian sinyal yang didapat. Spesimen #4 menunjukkan rata-rata ketinggian sinyal yang paling kecil kemudian

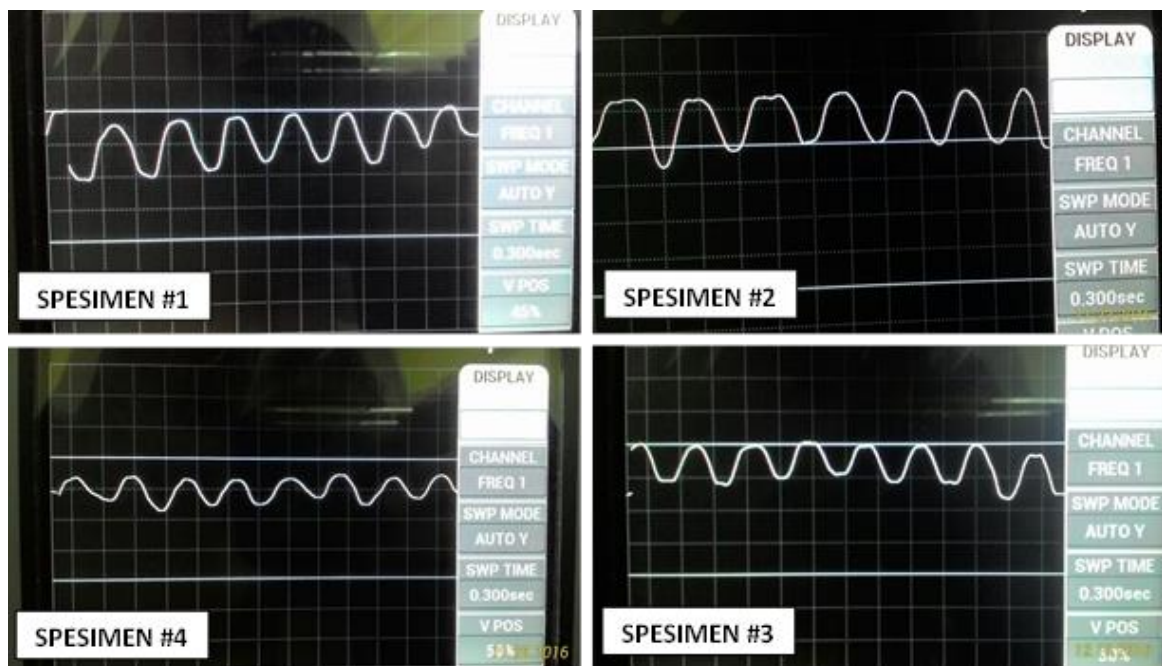
membesar pada spesimen #3 sebesar 11.60 mm, spesimen #2 sebesar 12.80 mm, dan spesimen #1 sebesar 14.20.



Gambar 4.8. Grafik regresi rata-rata ketinggian sinyal pada jarak retak 1.0 mm.

Gambar 4.8 menunjukkan grafik hasil regresi rata-rata ketinggian sinyal pada jarak retak 1.0 mm untuk keempat spesimen yang didapatkan dari data pengukuran Tabel 4.6 dan perhitungan regresi linear yang menghasilkan nilai intersep (A) = 16.35 dan slope (B) = -1.83 sehingga dapat dijadikan rumus dasar untuk menghasilkan grafik tersebut. Pada grafik regresi tersebut didapatkan nilai R^2 yaitu sebesar 0.947.

4.5.3. Ketinggian Sinyal pada Jarak Retak 1.5 mm



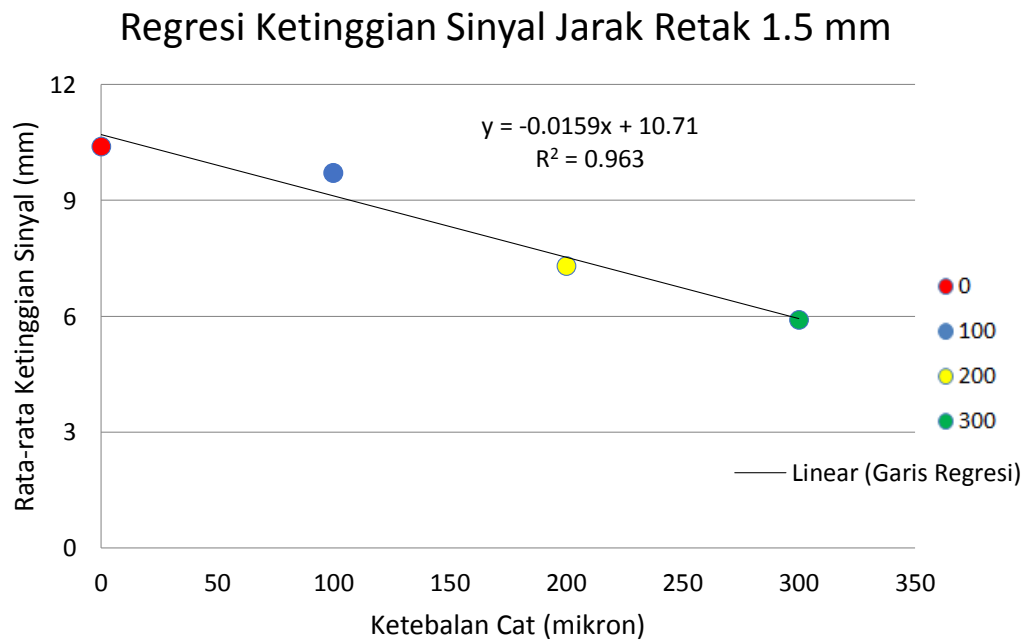
Gambar 4.9. Perbandingan sinyal retak 1.5 mm dari permukaan pada keempat spesimen.

Perbandingan rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak bawah permukaan dengan jarak 1.5 mm dari permukaan berdasarkan variasi ketebalan cat pada keempat spesimen uji ditunjukkan pada Gambar 4.9. Spesimen #1 kembali menunjukkan rata-rata ketinggian sinyal yang paling besar kemudian mengecil untuk spesimen #2, spesimen #3, dan spesimen #4.

Tabel 4.7. Tinggi indikasi sinyal pada retak 1.5 mm dari permukaan.

Rata-rata Ketinggian Indikasi Sinyal Retak (mm)			
Spesimen #1	Spesimen #2	Spesimen #3	Spesimen #4
10.40	9.70	7.30	5.90

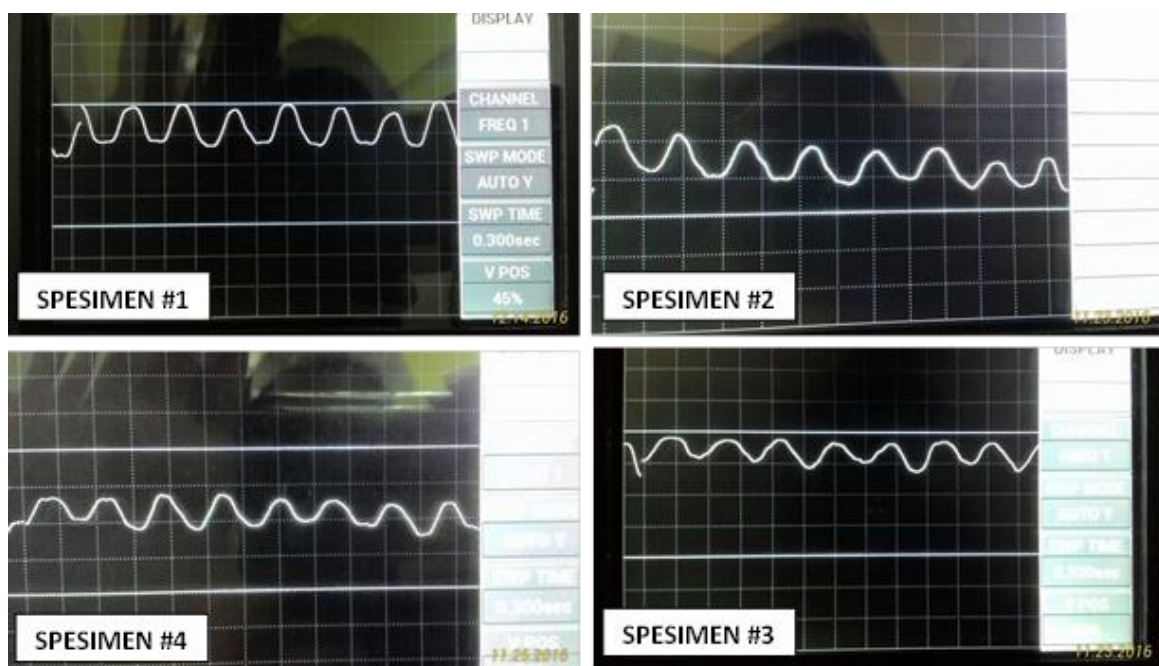
Pengukuran rata-rata ketinggian sinyal yang didapat ditunjukkan oleh Tabel 4.7. Spesimen #1 menunjukkan rata-rata ketinggian sinyal yang paling besar yaitu 10.40 mm kemudian mengecil untuk spesimen #2 sebesar 9.70 mm, spesimen #3 sebesar 7.30 mm, dan spesimen #4 sebesar 5.90 mm.



Gambar 4.10. Grafik regresi rata-rata ketinggian sinyal pada jarak retak 1.5 mm.

Gambar 4.10 menunjukkan grafik hasil regresi rata-rata ketinggian sinyal pada jarak retak 1.0 mm untuk keempat spesimen yang didapatkan dari data pengukuran Tabel 4.7 dan perhitungan regresi linear yang menghasilkan nilai intersep (A) = 10.71 dan slope (B) = -0.0159 sehingga dapat dijadikan rumus dasar untuk menghasilkan grafik tersebut. Pada grafik regresi tersebut didapatkan nilai R^2 yaitu sebesar 0.963.

4.5.4. Ketinggian Sinyal pada Jarak Retak 2.0 mm



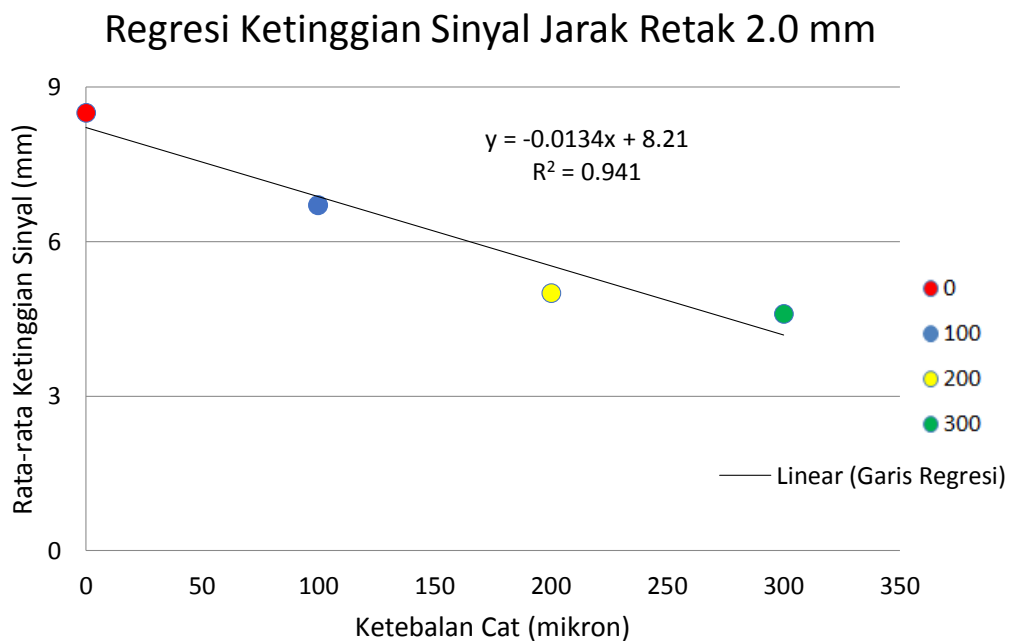
Gambar 4.11. Perbandingan sinyal retak 2.0 mm dari permukaan pada keempat spesimen.

Gambar 4.11 menunjukkan perbandingan rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak bawah permukaan dengan jarak 2.0 mm dari permukaan berdasarkan variasi ketebalan cat pada keempat spesimen uji. Gambar-gambar tersebut menunjukkan adanya perubahan ketinggian indikasi sinyal retak yang terjadi akibat perbedaan lapisan cat yang ada di permukaan benda uji. Spesimen #4 menunjukkan rata-rata ketinggian sinyal paling kecil sedangkan spesimen #1 masih menunjukkan rata-rata ketinggian sinyal paling besar.

Tabel 4.8. Tinggi indikasi sinyal pada retak 2.0 mm dari permukaan.

Rata-rata Ketinggian Indikasi Sinyal Retak (mm)			
Spesimen #1	Spesimen #2	Spesimen #3	Spesimen #4
8.50	6.70	5.00	4.60

Tabel 4.8 menunjukkan pengukuran rata-rata ketinggian sinyal yang didapat. Penurunan rata-rata ketinggian sinyal antara spesimen satu dengan yang lainnya pada jarak retak 2.0 mm ini tidak menunjukkan perbedaan yang terlalu jauh sehingga pada saat melakukan pengujian di lapangan cukup sulit untuk membedakan sinyal yang ditunjukkan dari monitor alat *eddy current*.



Gambar 4.12. Grafik regresi rata-rata ketinggian sinyal pada jarak retak 2.0 mm.

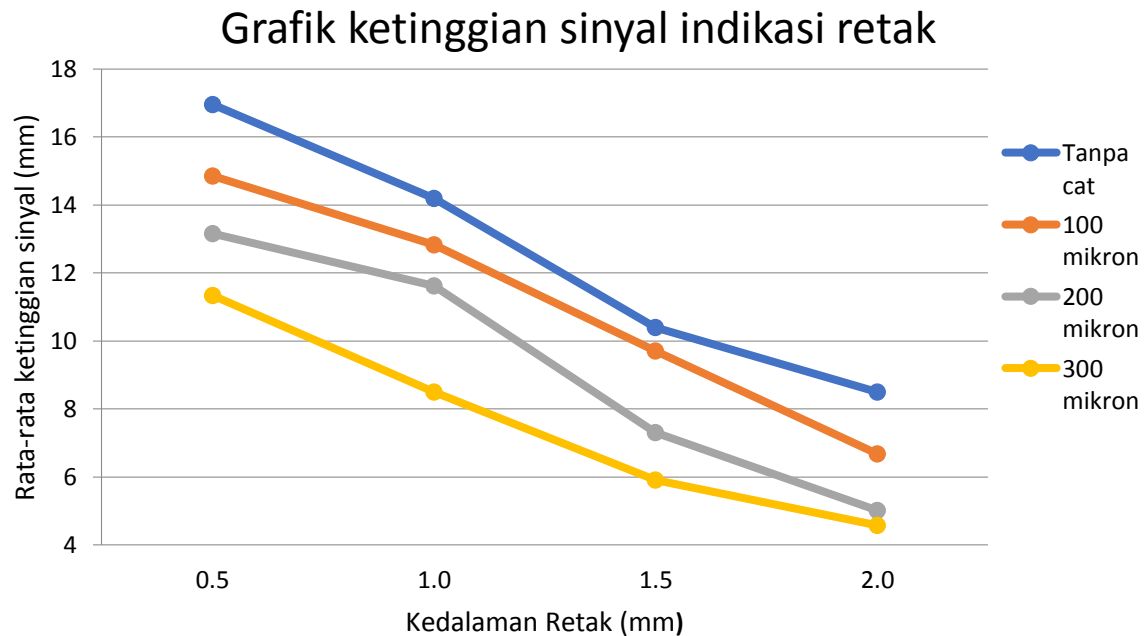
Gambar 4.12 menunjukkan grafik hasil regresi rata-rata ketinggian sinyal pada jarak retak 2.0 mm untuk keempat spesimen yang didapatkan dari data pengukuran Tabel 4.8 dan perhitungan regresi linear yang menghasilkan nilai intersep (A) = 8.21 dan slope (B) = -0.0134 sehingga dapat dijadikan rumus dasar untuk menghasilkan grafik tersebut.. Pada grafik regresi tersebut didapatkan nilai R^2 yaitu sebesar 0.941.

4.6. Pembahasan

Tabel 4.9. Rekapitulasi hasil pengujian.

	Rata-rata Ketinggian Indikasi Sinyal Retak (mm)			
Jarak Retak dari Permukaan (mm)	Spesimen #1 (tanpa cat)	Spesimen #2 (100 mikron)	Spesimen #3 (200 mikron)	Spesimen #4 (300 mikron)
0.5	16.90	14.80	13.20	11.30
1.0	14.20	12.80	11.60	8.50
1.5	10.40	9.70	7.30	5.90
2.0	8.50	6.70	5.00	4.60

Sub-bab 4.2 sampai dengan sub-bab 4.4 menunjukkan hasil pengujian *eddy current* berdasarkan variasi jarak retak bawah permukaan (*subsurface crack*) terhadap permukaan untuk masing-masing spesimen dengan ketebalan cat yang berbeda-beda. Tabel 4.9 menunjukkan bahwa *Eddy Current Testing* mampu mendeteksi seluruh retak bawah permukaan buatan sebanyak empat buah pada masing-masing spesimen. Hasil dokumentasi pengujian berdasarkan variasi jarak retak bawah permukaan ditunjukkan oleh Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.4.



Gambar 4.13. Grafik perbandingan rata-rata ketinggian sinyal indikasi retak.

Keseluruhan data yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.9. Tabel tersebut menunjukkan bahwa ketika *probe* pengujian dilewatkan pada sebuah indikasi adanya retak bawah permukaan dengan jarak 0.5 mm dari permukaan untuk keempat spesimen akan menghasilkan indikasi sinyal retak dengan rata-rata ketinggian paling besar. Kemudian indikasi sinyal tersebut akan mengecil pada jarak retak bawah permukaan 1.0 mm dan 1.5 mm. Retak bawah permukaan dengan jarak 2.0 mm dari permukaan menunjukkan indikasi sinyal dengan rata-rata ketinggian paling kecil. Data pada Tabel 4.9 juga dapat disajikan dalam bentuk grafik yang terlihat pada Gambar 4.13. Apabila melihat dari grafik tersebut, dapat ditentukan jarak atau posisi retak dari permukaan pada suatu material saat kita mengetahui ukuran ketebalan cat dari material tersebut dan tinggi indikasi sinyal retak yang ditunjukkan monitor alat *Eddy Current Testing* pada saat *probe* pengujian dilewatkan pada sebuah indikasi adanya retak bawah permukaan.

Tabel 4.9 dapat memperlihatkan terjadinya penurunan nilai rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak bawah permukaan yang muncul di monitor alat *Eddy Current Testing* seiring dengan bertambahnya jarak retak bawah permukaan pada setiap spesimen. Hal tersebut terjadi karena intensitas arus eddy tidak terdistribusi secara merata pada benda yang diuji. Arus-eddy yang terbentuk cenderung rapat pada permukaan material uji yang paling dekat dengan kumparan (*probe*) dan menjadi semakin berkurang kerapatannya seiring dengan bertambahnya jarak di bawah permukaan dari material uji tersebut. Dapat

dikatakan bahwa pada saat jarak retak bawah permukaan sebesar 2.0 mm, dimana merupakan variasi jarak retak bawah permukaan paling besar pada satu spesimen, intensitas arus eddy sudah berkurang sehingga menghasilkan sinyal indikasi paling kecil namun masih dapat terdeteksi untuk keempat spesimen yang diuji. Semakin kecil nilai ketinggian sinyal indikasi retak menunjukkan semakin jauh posisi retak tersebut terhadap permukaan benda yang diuji.

Sub-bab 4.5 menunjukkan hasil pengujian berdasarkan perubahan ketebalan lapisan cat pada keempat spesimen untuk setiap jarak retak bawah permukaan yang sama. Perubahan nilai rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak bawah permukaan akibat perbedaan ketebalan lapisan cat pada setiap spesimen ditunjukkan oleh Tabel 4.5 sampai dengan Tabel 4.8. Hasil dokumentasi pengujian berdasarkan variasi ketebalan cat pada keempat spesimen dapat dilihat pada Gambar 4.5, Gambar 4.7, Gambar 4.9, dan Gambar 4.11.

Tabel 4.9 menunjukkan bahwa rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak bawah permukaan yang dihasilkan ketika *probe* melewati indikasi adanya retak bawah permukaan dengan ukuran dan jarak retak yang sama akan mengalami perubahan. Pada posisi yang sama, nilai rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak bawah permukaan di spesimen #1 yang tidak terdapat lapisan cat di permukaannya menjadi yang paling besar. Kemudian nilai tersebut akan mengecil pada spesimen #2, spesimen #3, dan nilai paling terkecil pada spesimen #4 yang memiliki lapisan cat paling tebal. Kondisi tersebut terjadi untuk semua variasi jarak retak dari permukaan yaitu 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, dan 2.0 mm. Dapat dibuktikan dengan hasil pengukuran rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak yang mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya lapisan cat pada keempat spesimen. Spesimen #4 menghasilkan nilai rata-rata ketinggian sinyal paling kecil untuk semua posisi retak karena memiliki lapisan cat paling tebal yaitu 300 mikron. Jadi, dapat dikatakan bahwa ketebalan cat dapat memengaruhi atau mengurangi sensitivitas pendeteksian *subsurface crack* pada suatu material. Hal tersebut terjadi karena lapisan cat yang ada pada permukaan benda uji mempunyai sifat *nonconductive* atau tidak menghantarkan listrik padahal pengujian arus eddy hanya dapat dilakukan pada benda yang bersifat menghantarkan listrik (*electrically conductive*) sehingga kondisi tersebut menyebabkan timbulnya jarak antara *probe* dengan permukaan material uji atau dapat disebut dengan *lift-off*. *Lift-off* dapat memengaruhi hasil pengujian, dalam hal ini yaitu mengurangi kemampuan pendeteksian terhadap adanya retak bawah permukaan (*subsurface crack*).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis dan pembahasan dari penelitian yang menggunakan metode *Eddy Current Testing*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil rata-rata ketinggian sinyal indikasi bawah retak akibat pengaruh adanya *nonconductive coating* adalah sebagai berikut.
 - Untuk spesimen tanpa cat, pada jarak retak 0.5 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 16.90 mm; pada jarak retak 1.0 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 14.20 mm; pada jarak retak 1.5 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 10.40 mm; pada jarak retak 2.0 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 8.50 mm.
 - Untuk spesimen tebal cat 100 mikron, pada jarak retak 0.5 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 14.80 mm, pada jarak retak 1.0 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 12.80 mm, pada jarak retak 1.5 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 9.70 mm, pada jarak retak 2.0 mm rata-raa ketinggian sinyalnya 6.70 mm.
 - Untuk spesimen tebal cat 200 mikron, pada jarak retak 0.5 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 13.20 mm, pada jarak retak 1.0 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 11.60 mm, pada jarak retak 1.5 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 7.30 mm, pada jarak retak 2.0 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 5.00 mm.
 - Untuk spesimen tebal cat 300 mikron, pada jarak retak 0.5 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 11.30 mm; pada jarak retak 1.0 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 8.50 mm; pada jarak retak 1.5 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 5.90 mm; pada jarak retak 2.0 mm rata-rata ketinggian sinyalnya 4.60 mm.
2. Semakin tebal lapisan cat yang bersifat *nonconductive coating* pada permukaan spesimen akan semakin menurunkan kemampuan pendeteksian retak bawah permukaan (*subsurface crack*) ditunjukkan dengan semakin menurunnya rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak untuk satu posisi retak yang sama pada keempat spesimen dengan ketebalan cat yang berbeda.
3. Semakin kecil rata-rata ketinggian sinyal indikasi adanya retak yang ditunjukkan monitor alat *Eddy Current Testing* maka semakin jauh posisi retak tersebut dari permukaan benda yang diuji dan berlaku sebaliknya.

4. Permukaan alur las yang tidak rata atau bergelombang dan lapisan cat yang tidak merata dapat mempengaruhi kemampuan pendeteksian retak.

5.2. Saran

Pada penelitian ini, variasi hanya dilakukan pada jarak retak bawah permukaan terhadap permukaan benda uji namun panjang dan lebar tidak dilakukan variasi atau tetap. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan variasi pada panjang dan lebar retak bawah permukaan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Atlas Steels. (2013). Aluminium Alloy Data Sheet 5083. Atlas Steels.
- Blitz, Jack. (1997). Electrical and Magnetic Methods of Non-Destructive Testing 2nd Edition. London: Chapman & Hall.
- Cary, Howard B. (2005). Modern Welding Technology 4th Edition. New Jersey: Prentice Hall.
- Cox, J. (1997). Classroom Training Handbook, Nondestructive Testing, Eddy Current. South Harrisburg: PH Diversified, Inc.
- DNV. (2012). Classification Notes No.7, Non-destructive Testing. Det Norske Veritas AS.
- Hagemaier, D. J. (2002). Fundamentals of Eddy Current Testing. United States of America: The American Society for Nondestructive Testing Inc.
- Pollard, Stephen F. (1993). Boatbuilding With Aluminum. Camden: McGraw-Hill.
- Sadek, Hussein. (2006). Electromagnetic Testing-Classroom Training Book. Columbus: ASNT.
- Simpson, J., & Skillingberg, M. (2003). Aluminum Boats Prove Their Mettle.
- Singh, R. (2015). Applied Welding Engineering Processes, Codes, and Standards. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Widharto, Sri. (2007). Inspeksi Las 6. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Wiryosumarto, H dan Okumura, T. (2000). Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Workman, Gary L and Moore, Patrick O. Nondestructive Testing Overview 3rd Edition. Columbus: ASNT.

“Halaman sengaja dikosongkan”

MANDATORY APPENDIX VII

EDDY CURRENT EXAMINATION OF MAGNETIC AND NONMAGNETIC CONDUCTIVE METALS TO DETERMINE IF FLAWS ARE SURFACE-CONNECTED

VII-810 SCOPE

This Appendix provides the requirements for using an eddy current examination (ET) procedure to determine if flaws are surface-connected (i.e., open to the surface being examined). With appropriate selection of parameters, the method is applicable to both magnetic and nonmagnetic conductive metals.

VII-820 GENERAL

VII-821 PERFORMANCE

This Appendix provides requirements for the evaluation of flaws, detected by other nondestructive examinations, utilizing a surface probe operating at a suitable test frequency or combination of frequencies. The resultant phase and amplitude responses are used to determine if flaws are surface-connected.

VII-822 PERSONNEL QUALIFICATION

The user of this Appendix shall be responsible for assigning qualified personnel to perform eddy current examination in accordance with requirements of this Appendix or the referencing Code Section.

VII-823 WRITTEN PROCEDURE REQUIREMENTS

VII-823.1 Requirements. Eddy current examinations shall be performed in accordance with a written procedure, which shall contain, as a minimum, the requirements listed in [Table VII-823](#). The written procedure shall establish a single value or range of values, for each requirement.

VII-823.2 Procedure Qualification. When procedure qualification is specified by the referencing Code Section, a change of a requirement in [Table VII-823](#) identified as an essential variable shall require requalification of the written procedure by demonstration. A change of a requirement identified as a nonessential variable does not require requalification of the written procedure. All changes of essential or nonessential variables from those specified within the written procedure shall require revision of or an addendum to the written procedure.

VII-830 EQUIPMENT

VII-830.1 System Description. The eddy current system shall consist of an eddy current instrument, surface probe, and cable connecting the instrument and the probe.

VII-830.2 Surface Probes. The eddy current probes shall be either differential or absolute type. They shall be capable of inducing alternating currents in the material being examined and be capable of sensing changes in the resultant electromagnetic field.

VII-830.3 Cables. Cables connecting the eddy current instrument and probes shall be designed and assembled to operate with these components.

VII-830.4 Instrumentation. The eddy current instrument shall be capable of driving the probes selected for this examination with alternating current over a suitable range of frequencies. The eddy current instrument shall be capable of sensing and displaying differences in phase and amplitude correlated to the depth of discontinuities. The instrument shall be capable of operating in either the absolute or differential mode. The persistence shall be adjusted to display the phase and amplitude responses of the reference specimen notches and flaws in the material under examination.

Table VII-823
Requirements of an Eddy Current Surface Examination Procedure

Requirements (as Applicable)	Essential Variable	Nonessential Variable
Frequencies	X	...
Mode (differential/absolute)	X	...
Probe type	X	...
Maximum scanning speed	X	...
Material being examined	X	...
Material surface condition	X	...
Reference specimen material and simulated flaws	X	...
ET instrument manufacturer/model	X	...
Data presentation — display	X	...
Cabling (type and length)	X	...
Use of saturation	X	...
Analysis method	X	...
Scanning technique	...	X
Surface preparation	...	X

VII-830.5 Reference Specimen. The reference specimen shall be constructed of the same alloy and product form as the material being examined. The reference specimen shall be as specified in [Figure VII-830.5](#). Calibration references consist of two surface connected notches and two bridged notches, representing both surface-connected and subsurface flaws. The specimen shall be a minimum of 5.0 in. (125 mm) long, 1.5 in. (38 mm) wide, and 1/4 in. (6 mm) thick. Additional notches and bridged notches may be added and block lengthened when additional information or higher precision is required. Surface conditions and finish of both the reference specimen and the material being examined shall be similar.

VII-850 TECHNIQUE

A single or multiple frequency technique may be used. The frequency(s) shall be selected to result in an impedance plane presentation of 90 deg to 180 deg phase shift between the surface and subsurface notch indications.

VII-860 CALIBRATION

VII-861 GENERAL

The probe frequency(s) and gain settings shall be selected to provide a suitable phase spread while providing sufficient penetration to ensure that the shallowest subsurface bridged notch indication is detected. Display gain of the vertical and horizontal axis shall be set to provide equal signal response. The ET instrument shall be adjusted to rotate the phase for the lift-off response to be positioned at the 270 deg horizontal plane. Scanning shall be conducted perpendicular to the length of the notches.

The gain shall be set to display the 0.020 in. (0.5 mm) deep surface notch at 100% full screen height. At this gain setting, the 0.010 in. (0.24 mm) deep surface notch should be displayed at approximately 25% full screen height. The gain settings for these two reference notches may be accomplished on separate frequencies. Balancing the instrument will be conducted with the probe situated on the space between notches. Scanning speed shall be adjusted to allow the display to be formed for evaluation. The persistence of the screen shall be adjusted to allow a comparison of the responses from each notch. The screen shall be cleared to prevent the display to become overloaded. The presentation shall be balanced prior to making initial and final adjustments of phase and amplitude. Responses in terms of amplitude and phase angle resulting from scanning the surface notches and notch bridges shall be recorded.

VII-862 CALIBRATION RESPONSE

Typical responses from carbon steel and stainless steel calibration specimens are shown in [Figure VII-862](#). Note that responses from magnetic materials and nonmagnetic materials provide significantly different displays.

VII-870 EXAMINATION

The flaw of interest shall be scanned with an overlap on the adjacent scan to include approximately 50% of the probe diameter. Scanning shall be conducted perpendicular to the flaw length. The identity of the flaw will be determined from the phase and amplitude of the displayed response. The phase and amplitude of flaws and their location will be recorded. During the examination the maximum scanning speed and lift-off distance shall not be greater than those used for calibration. The surface finish of areas scanned shall be comparable to the reference specimen.

VII-880 EVALUATION

Discrimination of surface-connected flaw responses from those of subsurface flaws shall be determined by comparable phase and amplitude responses obtained from similar surface-connected notches and subsurface, bridged notches contained in the reference specimen.

VII-890 DOCUMENTATION

VII-891 EXAMINATION REPORT

The report of the examination shall contain the following information:

- (a) procedure identification and revision
- (b) identification of examination personnel
- (c) qualification of personnel, when required by the referencing Code Section
- (d) date of examination

- (e) identification of component or material examined
- (f) scan plan including frequency(s) and gain
- (g) flaw identity (e.g., surface-connected or not surface-connected)
- (h) identification and drawing of reference calibration specimen
- (i) calibration results (display) showing the indications of the bridged (subsurface) notches and surface notches detected
- (j) ET equipment manufacturer, model, type, and serial number
- (k) probe manufacturer, model, type, and serial number
- (l) extension cable, if used, manufacturer, type, and length

VII-892 RECORD RETENTION

Records shall be maintained in accordance with requirements of the referencing Code Section.

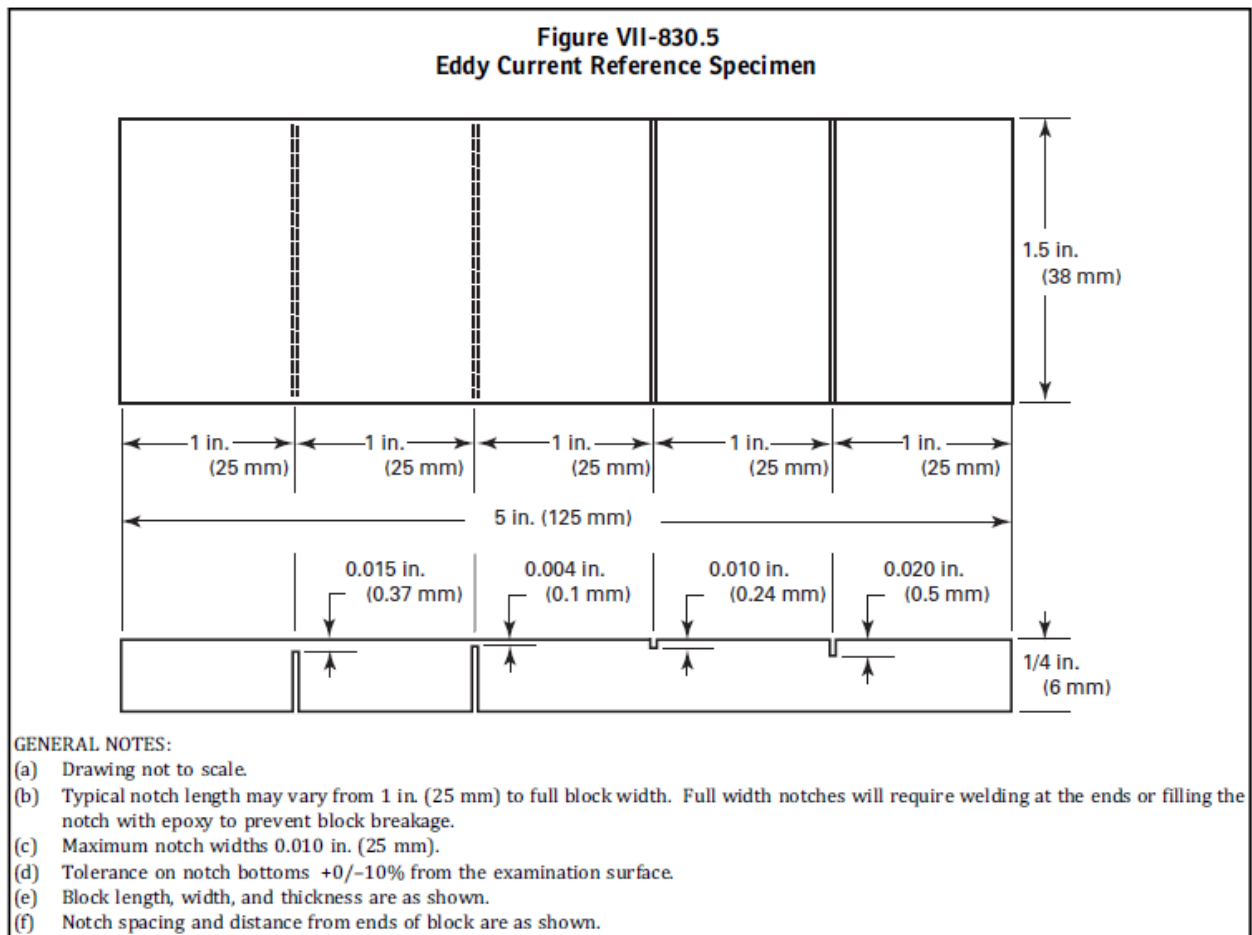
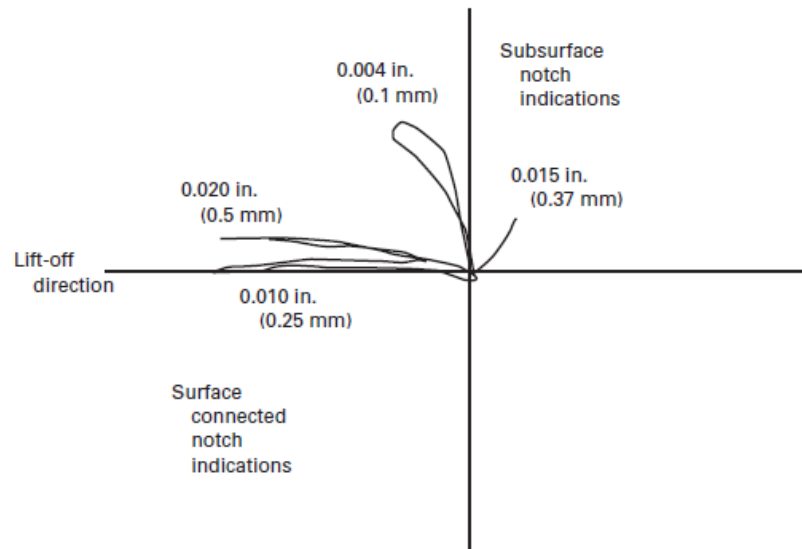
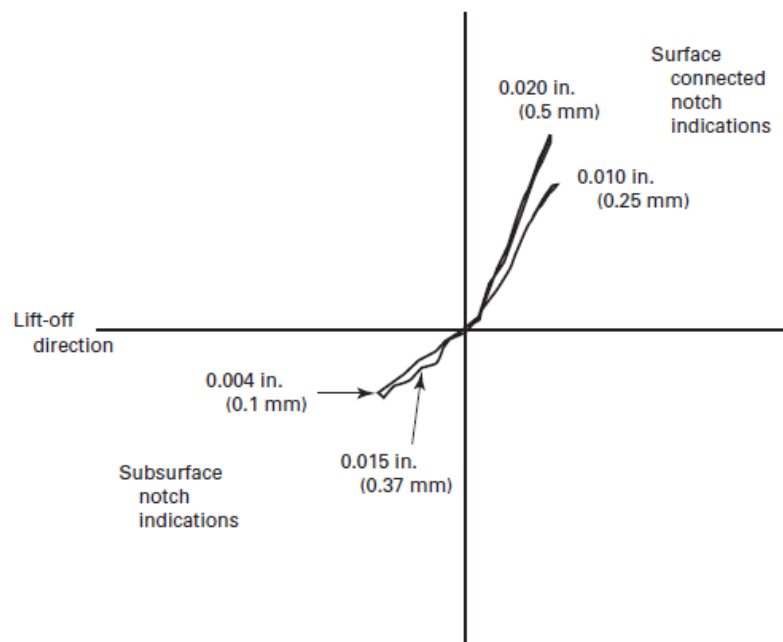


Figure VII-862
Impedance Plane Responses for Stainless Steel and Carbon Steel Reference Specimens



(a) Stainless Steel at Examination Frequency of 800 kHz



(b) Carbon Steel at Examination Frequency of 800 kHz

2. Eddy Current

2.1 Scope

This part defines Eddy Current testing techniques (ET) for detection of surface breaking and near surface planar defects in:

- welds
- heat affected zone
- parent material.

ET can be applied on coated and uncoated objects and the testing can be carried out on all accessible surfaces on welds of almost any configuration.

Usually, it can be applied in the as-welded condition. However, a very rough surface may prevent an efficient testing.

The Eddy Current testing method includes also Alternating Current Field Measurement (ACFM). If this method is applied, written procedures shall be established according to recognised standards and are subjected for approval by the Society before the testing starts.

2.2 Definitions

In addition to definitions given in 1.3 the following applies:

2.2.1 Balance

Compensation of the signal, corresponding to the operating point, to achieve a predetermined value, for example zero point.

2.2.2 Impedance plane diagram

Graphical representation of the focus points, indicating the variation in the impedance of a test coil as a function of the test parameters.

2.2.3 Noise

Any unwanted signal which can corrupt the measurement.

2.2.4 Phase reference

Direction in the complex plane display chosen as the origin for the phase measurement.

2.2.5 Probe

Eddy current transducer. Physical device containing excitation elements and receiving elements.

2.2.6 Lift off

Geometrical effect produced by changes in the distance between the probe and the product to be tested.

2.3 Personnel qualifications

Personnel performing testing shall be qualified and certified to ET level 2 or 3 in accordance with EN 473, ISO 9712 or other equivalent recognised standard or certification schemes e.g. PCN and NORDTEST. Other recognized national certification schemes may be considered.

2.4 Information required (prior to testing)

See general information in 1.6 through 1.11.

2.5 Surface conditions

Depending on the sensitivity requirements, the eddy current method is able to detect surface cracks through non-metallic coating up to 2 mm thickness. Coating thickness in excess may be considered if the relevant sensitivity is maintained.

Excessive weld spatters, scale, rust and damaged paint can influence sensitivity by separating the probe (lift off) from the test object and shall be removed before the inspection.

It shall also be noted some types of coating, such as zinc primers, could seriously influence the results as they can deposit electrical conductive metallic material in all cracks open to the surface.

Normally, zinc rich shop primer used for corrosion protection (typical thickness max. 30 μm) will not influence the testing.

2.6 Equipment

2.6.1 Instrument

The instrument used for the testing described in this Classification Note shall at least have the following features:

2.6.1.1 Frequency

The instrument shall be able to operate at the frequency range from 1 kHz to 1 MHz.

2.6.1.2 Gain/noise

After compensation (lift off), a 1 mm deep artificial defect shall be indicated as a full screen deflection through a coating thickness corresponding to the maximum expected on the object to be tested.

Further, a 0.5 mm deep artificial defect shall be indicated through the same coating thickness by a minimum noise/signal ratio of 1 to 3.

Both requirements shall apply to the chosen probe and shall be verified on a relevant calibration block.

2.6.1.3 Evaluation mode

The evaluation mode uses both phase analysis and amplitude analysis of vector traced to the complex plane display. Evaluation may be by comparison of this display with reference data previously stored.

2.6.1.4 Signal display

As a minimum, the signal display shall be a complex plane display with the facility to freeze data on the screen until reset by the operator. The trace shall be clearly visible under all lighting conditions during the testing.

2.6.1.5 Phase control

The phase control shall be able to give complete rotation in steps of no more than 10° each.

2.6.2 Probes

2.6.2.1 Probes for measuring thickness of coating

The probe shall be capable of providing a full screen deflection lift-off signal on the instrument when moved from an uncoated spot on a calibration block to a spot covered with the maximum coating thickness expected on the object to be tested. The probe shall operate in the frequency range from 1 kHz to 1 MHz. The probes shall be clearly marked with their operating frequency range. Typical absolute probes to be used is shielded 200 KHz and 500 KHz.

2.6.2.2 Probes for weld testing

For testing of welds, probes specially designed for this purpose shall be used. The probe assembly shall be differential, orthogonal, tangential or equivalent which is characterised by having a minimal dependency on variations in conductivity, permeability and lift off in welded and heat-affected zones

The diameter of the probe shall be selected relative to the geometry of the component under test. Such probes shall be able to operate when covered by a thin layer on non-metallic wear-resistant material over the active face. If the probe is used with a cover, then the cover shall always be in place during the calibration. The probe shall operate at a selected frequency in the range from 100 kHz to 1 MHz. Typical absolute probes to be used is shielded 200 KHz and 500 KHz.

2.6.3 Accessories

2.6.3.1 Calibration block

A calibration block, of the same type of the material as the component to be tested shall be used. It shall have EDM (Electric Discharge Machined) notches of 0.5, 1.0 and 2.0 mm depth, unless otherwise agreed between contracting parties. Tolerance of notch depth shall be ± 0.1 mm. Recommended width of notch shall be ≤ 0.2 mm.

2.6.3.2 Non-metallic sheets

Non-metallic flexible strips of a known thickness to simulate the coating or actual coatings on the calibration block shall be used.

It is recommended that non-metallic flexible strips be multiples of 0.5 mm thickness.

2.6.3.3 Probe extension cables

Extension cables may only be used between the probe and the instrument if the function, sensitivity and the resolution of the whole system can be maintained.

2.6.4 Systematic equipment maintenance

The equipment shall be checked and adjusted on a periodic basis for correct functioning in accordance with recognised standards, e.g. EN 1711 or ASME V. This shall only include such measurements or adjustments, which can be made from the outside of the equipment. Electronic adjustments shall be carried out in case of device faults or partial deterioration or as a minimum on an annual basis. It shall follow a written procedure. The results of maintenance checks shall be recorded. Records shall be filed by owner.

27 Testing

2.7.1 General information for coating thickness

The coating thickness on the un-machined surface is never constant. However, it will influence the sensitivity of crack detection. The lift off signal obtain from the object to be tested shall be similar to the signal obtain from the calibration block, i.e. it shall be within 5° either side of the reference signal. In the event that the signal is out of this range, a calibration block more representative of the material to be tested shall be produced/ manufactured.

2.7.1.1 Calibration

- Select frequency to desired value between 1 kHz and 1 MHz, depending on probe design, for instance a broad band pencil probe 80-300 kHz set at 100kHz.
- Place the probe on the uncovered calibration block away from slots and balance the equipment.
- Use the X- and Y-controls to adjust the position of the spot until it is on the right hand side of the screen. Move the probe on and off the calibration block. Adjust the phase angle control until the movement of the spot is horizontal.
- Place the probe on the uncovered calibration block ensuring it is not close to any of the slots. Repeat this on the same spot of the block now covered with 0.5, 1.0 and 1.5 mm non-metallic sheets.
- Note the different signal amplitudes, see Fig. 2-8.

2.7.1.2 Measuring of coating thickness

- Balance the equipment on an uncoated spot on the test object.
- Place the probe on selected spots adjacent to the weld or area to be tested. Note the signal amplitudes.
- The thickness of the coating can be estimated by interpolation between the signal amplitudes from the known thicknesses, see Fig. 2-9.
- The estimated coating thickness shall be recorded.

2.7.2 Testing of weld in Ferritic materials

2.7.2.1 Frequency

The frequency shall be chosen according to the material (conductivity, permeability), the defect (type, location, size) and the probe design. It is suggested to use a frequency around 100 kHz.

2.7.2.2 Probes

For testing of ferritic welds, probes specially designed for this purpose shall be used. They are usually of the differential coil type, which is characterised by having a minimal influence on variations in conductivity, permeability and lift-off in the welded and heat-affected zones. Such probes may further be designed for use on rather uneven surfaces as often found in welds on steel structures. (Regarding use of protective covers on probes, see 2.6.2.2)

2.7.2.3 Calibration

Calibration is performed by passing the probe over the notches in the calibration block. See Fig. 2-7 The notched surface shall first be covered by non metallic flexible strips having a thickness equal to or greater than the measured coating thickness.

The equipment sensitivity is adjusted to give increasing signals from increasing notch depths. The 1 mm deep notch shall give a signal amplitude of approximately 80% of full screen height. The sensitivity levels shall then be adjusted to compensate for object geometry.

Calibration check shall be performed periodically and at least at the beginning and the end of the shift and after every change in working conditions.

When the calibration is complete it is recommended the balance is adjusted to the centre of the display.

Calibration procedure:

- Select frequency to 100 kHz.
- Balance the equipment with the probe in air.
- Use the X- and Y- controls to adjust the spot position to the centre of the screen (X-axis) and minimum one and a half screen divisions above the bottom line (Y-axis), ensuring that no noise signal is fully displayed on the screen.
- Place the probe on the uncovered calibration block ensuring it is not close to any of the slots. Balance the equipment.
- To obtain a correct defect display, run the probe over the 2.0 mm deep slot. Care should be taken that the longitudinal axis of the probe is kept parallel to the slot and the scanning direction is at right angles to the slot. Indications from the slot will appear on the screen. The phase angle control is in the vertical upwards direction.
- The sensitivity level shall be adjusted to compensate for the coating thickness measured under 2.7.1.2 using the following procedure:
- Place the non-metallic sheets of the actual thickness corresponding to the measured coating thickness on the calibration block, or the nearest higher thickness of the non metallic sheets.

Place the probe on the covered calibration block ensuring it is not close to any of the slots and balance the equipment.

Run the probe over the 2.0 mm deep slot. Adjust the gain (dB) control until the signal amplitude from the slot is in 80% of full screen height.

2.7.2.4 Scanning

The weld surface and 25 mm of each side of the weld (including the heat-affected zones) shall be scanned with the chosen probe(s). As far as the geometry of the test objects permits, the probe shall be moved in directions perpendicular to the main direction of the expected indications. If this is unknown, or if indications in different directions are expected, at least two probe runs shall be carried out, one perpendicular to the other.

The testing can be split into two parts: the heat affected zones (25 mm each side of the weld) see Fig. 2-1, 2-2, 2-3 and the weld surface, Fig. 2-4.

It shall be noted that the reliability of the testing is highly dependent on the probe relative to the surface (weld) under test. Care shall also be taken to ensure that the probe is at the optimum angle to meet the varying surface conditions in the heat affected zone.

For probes of differential coil type, the sensitivity is affected by the orientation of the imperfection relative to the coil. Therefore, care shall be taken that this also is controlled during the testing.

Guidance note:

Especially defects with an orientation of 45° to the main direction of the probe movement can be difficult to detect.

---e-n-d---of---G-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

2.7.2.5 Detectability of imperfections

The ability to detect imperfections depends on many factors.

Some recommendations are made below to take account of the limiting factors which affect indications detectability.

- a) Material of calibration block:
Testing of metalized welds/components require equivalent calibration blocks and established calibration procedures.
- b) Conductive coatings:
Conductive coatings reduce the sensitivity of the test. The maximum coating thickness shall also be reduced and depending on the conductivity.
- c) Non-conductive coatings:
Non-conductive coatings reduce the sensitivity of the test depending on the distance between the probe and the test object.
- d) Geometry of the object:
The shape of the object and the access of the probe to the area under test reduce the sensitivity of the test. Complex weld geometries such as cruciform and gusset plates shall be tested relative to the complex geometry and possible orientation of the indications.
- e) Orientation of coils to the indication:
Directional induced current; the induced current is directional, therefore care shall be taken to ensure that the orientation of current is perpendicular and/or parallel to the expected indication position.

Inclination; care shall be taken to ensure the optimum angle of the coils relative to the area under test is maintained.

f) Minimum size of indication:

The minimum size of indication that the eddy current method is capable to detect in ferritic steel weld in the “as welded” conditions is 1 mm deep × 5 mm long.

2.7.3 Procedure for examination of welds in other materials

As previous stated, the Eddy Current method is also applicable to welds in other materials such as aluminium, duplex, stainless steels and titanium.

The procedure for testing of such welds shall generally include the same items as in 2.7.2 but the choice of frequency, probes, calibration and scanning patterns shall be optimised to the actual materials, and may deviate considerably from what is recommended for ferritic materials.

Therefore, the testing shall be based on practical experience with suitable equipment and probes, and shall be shown in a specific procedure.

2.7.3.1 Detectability of imperfections

This part of the Classification Note is based on a sensitivity level of detecting a imperfection producing a response equal to the signal amplitude from a 2 mm deep slot with scanning pattern ensuring that 10 mm or longer defects can be found.

However, the ability to detect a imperfection depends on many factors and the present knowledge of Eddy Current method applied to welded components does not allow proposing precise criteria, they shall be fixed and agreed between contracting parties as standard rule. If an amplitude response equal to 50% of amplitude response found in scanning, the 2.0 mm notch of the calibration block used, the corresponding indication is considered as a potential defect and the relevant acceptance levels for MT or PT may apply.

2.8 Acceptance Criteria

Whenever acceptance criteria are defined in the Rules, approved drawings, IACS Recommendations or other agreed product standards, these criteria are mandatory.

2.9 Evaluation of non acceptable indication

A non acceptable indication is defined as an area displaying an abnormal signal compared to that expected from that area of the object under test.

In the event of a non acceptable indication being noted (see Fig. 2-5), a further investigation of the area is requested, e.g. by using magnetic particle testing

A longitudinal scan shall be performed and the length of the indication noted.

Where possible a single pass scan along the length of the indication shall be performed to obtain the signal amplitude. The maximum amplitude shall be noted (see Fig. 2-6).

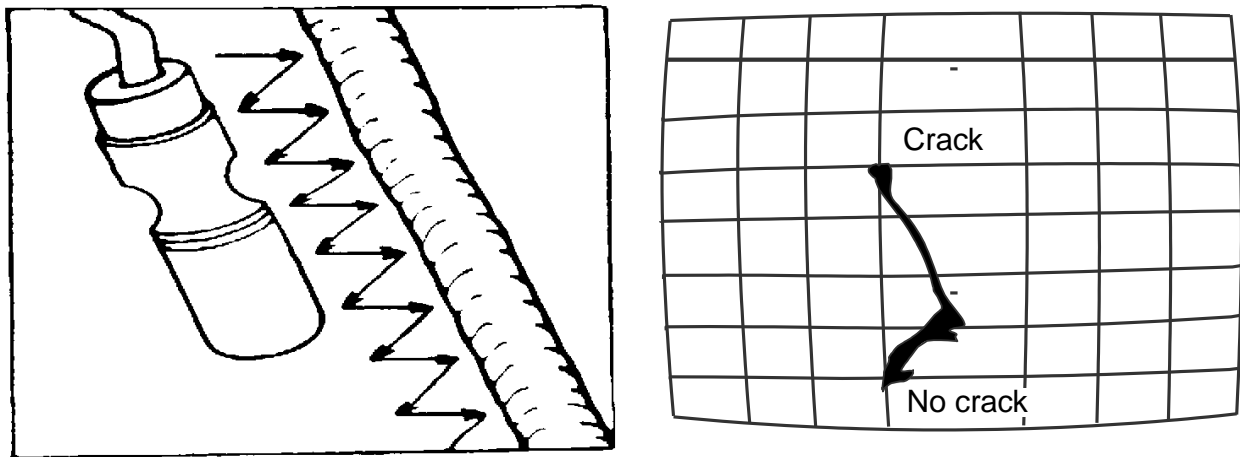
If further clarification is still needed, or when the removal of a indication shall be verified, it is requested that the testing is supplemented with other non-destructive testing, e.g. magnetic particle testing (MT) or penetrant testing (PT).

Where a non acceptable indication is noted, but no depth information is possible alternative NDT method such as ultrasonic and/or Alternating Current Potential Drop techniques shall be used to determine the depth and orientation of the indication.

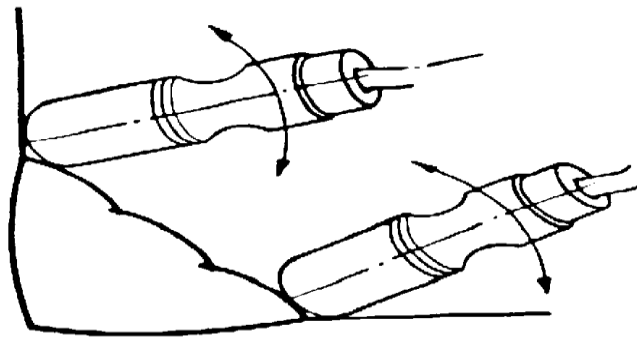
2.10 Reporting

In addition to the items listed under 1.11 Final report the following have to be included in the eddy current report:

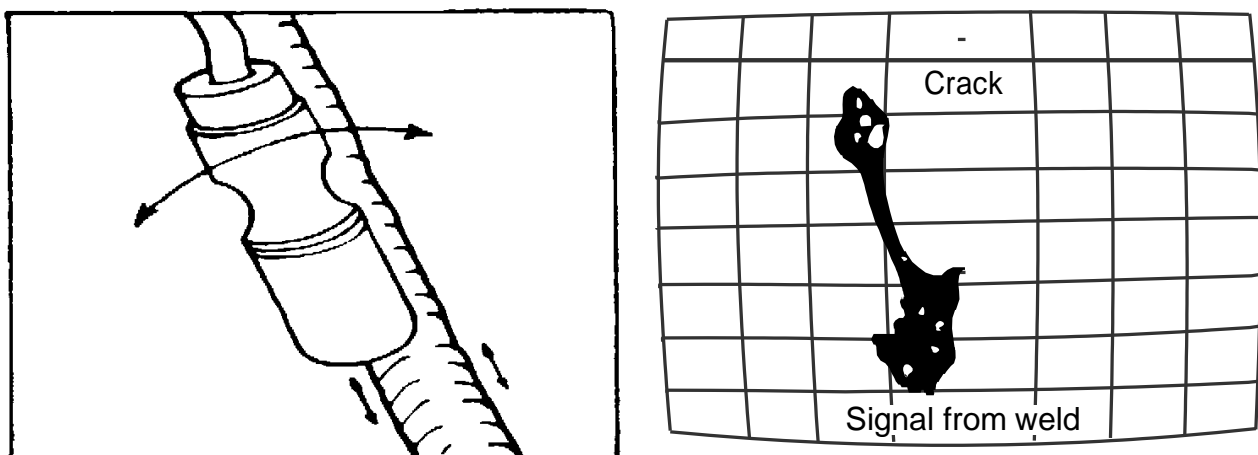
- probes, type and frequency
- phase, e.g. 180° and/or 360°
- identification of reference blocks used
- calibration report
- reporting level, if different from acceptance level.

**Figure 2-1**

First scan of heat affected zones - Probe movement almost perpendicular to weld axis

**Figure 2-2**

Probe angle (at scans shown in Fig. 2-1 shall be adjusted to meet varying surface conditions)

**Figure 2-3**

Recommended additional scans of heat affected zones - Probe movement parallel to the weld axis

Guidance note:

Both scanning patterns in Fig. 2-1 and 2-3 are mainly for longitudinal defects. Therefore, the probe orientation shall always be in position giving maximum sensitivity for the defect direction.

---e-n-d---of---G-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

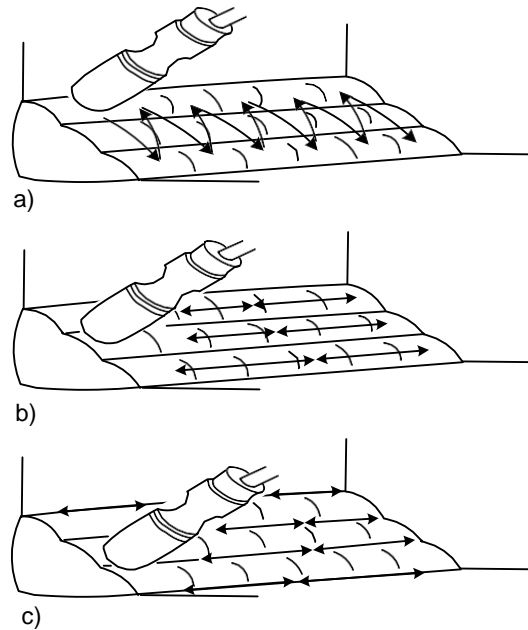


Figure 2-4
Scan of weld surface - Transverse/longitudinal scanning technique to be used relative to weld surface condition

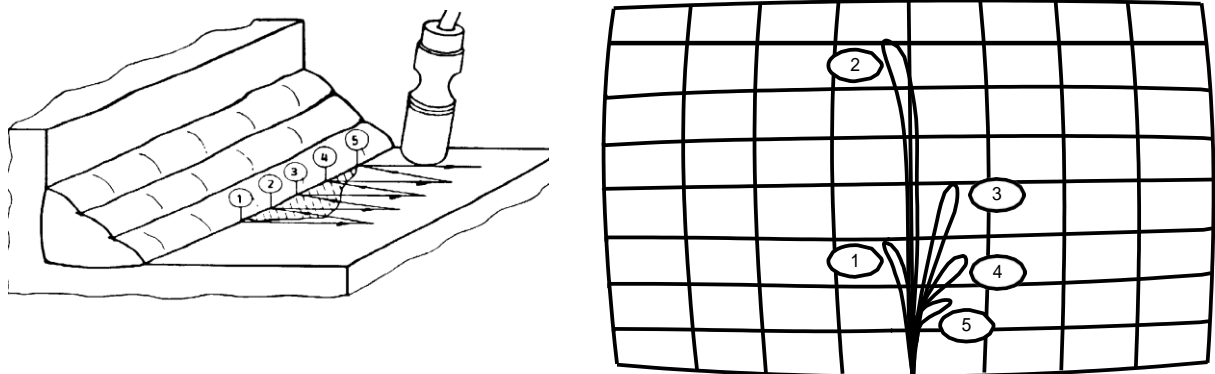


Figure 2-5
Defect evaluation using transversal scanning techniques

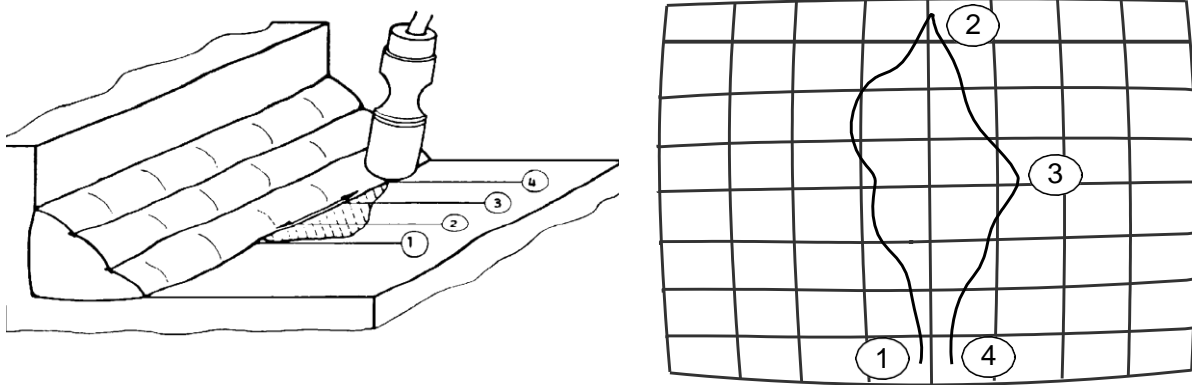


Figure 2-6
Defect evaluation using single pass longitudinal technique in heat affected zones

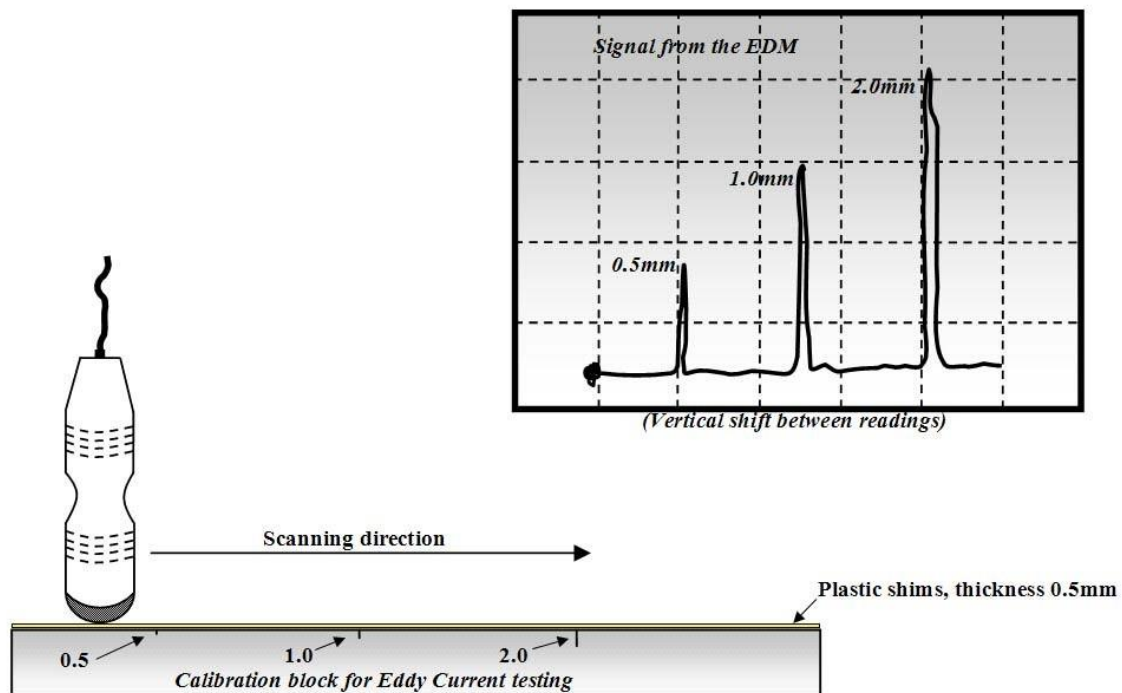


Figure 2-7
Calibration on notches

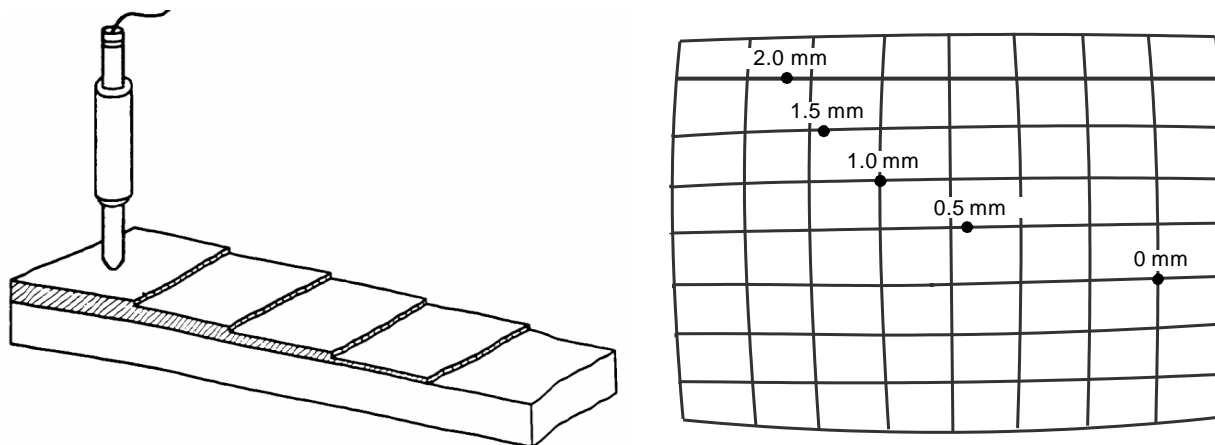


Figure 2-8
Coating thickness measurement (Calibration procedure. Vertical shift adjustment between readings)

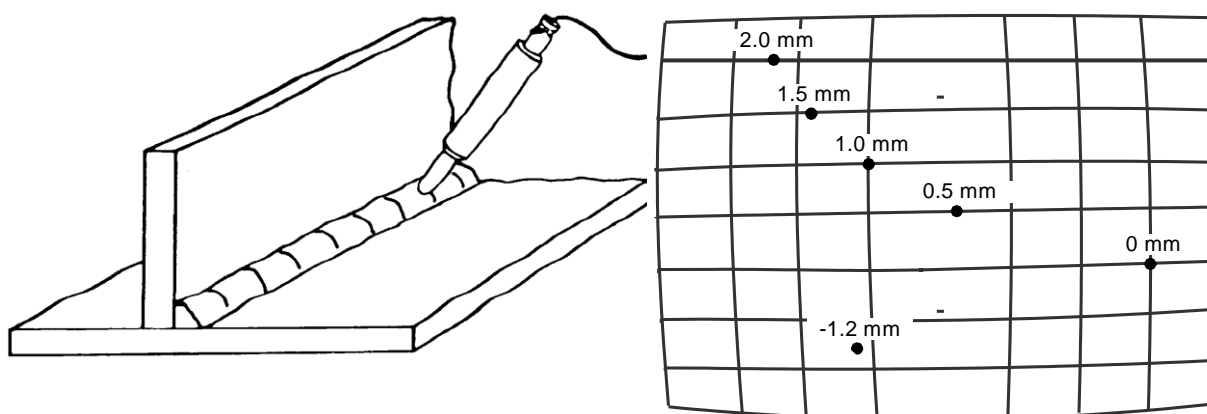


Figure 2-9
Coating Thickness Measurement. (Vertical shift adjustment between readings)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 02 Oktober 1994. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2000-2006 di SDN Rungkut Menanggal I Surabaya. Kemudian dilanjutkan di SMPN 12 Surabaya pada tahun 2006-2009, sedangkan pendidikan tingkat atas dilalui di SMAN 15 Surabaya dari tahun 2009-2012. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS, Surabaya pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 4112100116.

Selama masa studi, penulis tercatat aktif di berbagai kegiatan mahasiswa di luar kuliah yaitu mengikuti kepanitiaan kegiatan Semarak Mahasiswa Perkapalan (SAMPAN) diantaranya sebagai bendahara sub kegiatan Marine Kids SAMPAN 7 pada tahun 2012-2013 kemudian sebagai bendahara sub kegiatan Lokarina SAMPAN 8 pada tahun 2013-2014 dan sebagai bendahara II Panitia Pusat SAMPAN 9 pada tahun 2014-2015. Selain kegiatan kepanitiaan, penulis juga menggemari beberapa kegiatan olahraga selama berkuliah diantaranya yaitu dayung kapal naga atau *dragon boat* dan basket. Penulis yang juga tergabung dalam Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Maritime Challenge pernah mengikuti lomba dayung se-Jawa Timur yaitu “SEGUNI Dragon Boat Race” pada tahun 2013 dengan prestasi sebagai Juara III. Penulis juga sempat aktif pada kegiatan basket di Departemen Teknik Perkapalan dan beberapa kali mengikuti kejuaraan dengan salah satu prestasi sebagai Juara Pertama Basket Rektor Cup ITS pada tahun 2014. Pada Juni 2016, untuk menyelesaikan syarat studinya penulis melaksanakan Kerja Praktik pertama di PT. Dok Perkapalan Surabaya dan Kerja Praktik kedua di Biro Klasifikasi Cabang Madya Semarang pada Agustus 2016. Pada akhir masa studi, penulis mengikuti pelatihan Non-Destructive Testing (NDT) Level 2 Eddy Current Testing Method di NDE Center.

Untuk memenuhi persyaratan menjadi seorang Sarjana Teknik, penulis mengambil Tugas Akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Ketebalan *Nonconductive Coating* terhadap Pendeteksian *Subsurface Crack* pada Sambungan Las Material Aluminium 5083 di Pondasi Mesin dengan Metode *Eddy Current Testing* (ECT)”.

E-mail: danawahyuadi22@gmail.com